

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Ivan Princip

Zagreb, 2019.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Damir Ciglar, dipl. ing.

Student:

Ivan Princip

Zagreb, 2019.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se svom mentoru profesoru Damiru Ciglaru, a posebno se zahvaljujem asistentu Mihi Klaiću na stručnoj pomoći i savjetima prilikom izrade ovog završnog rada.

Ivan Princip



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za završne ispite studija strojarstva za smjerove:
proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment, inženjerstvo
materijala i mehatronika i robotika

| | |
|--|--------|
| Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje | |
| Datum | Prilog |
| Klasa: | |
| Ur.broj: | |

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **IVAN PRINCIP**

Mat. br.: 0035205774

Naslov rada na
hrvatskom jeziku:

Posmični prigon za laboratorijski postav

Naslov rada na
engleskom jeziku:

Feed drive for laboratory setting

Opis zadatka:

Jedan od modula, od kojih se grade alatni strojevi je posmični prigon. On osigurava kontinuitet obrade odvajanjem čestica na alatnom stroju i stoga je vrlo važna komponenta. Projektiranjem i izradom tri identična posmična prigona, stvorio bi se preduvjet za ostvarivanje različitih kinematskih struktura alatnih strojeva. To je izuzetno važno za edukaciju i praktični dio nastave na kolegijima, koji se odvijaju u prostorima Laboratorija za alatne strojeve.

U radu je potrebno:

- dati literaturni pregled najčešćih rješenja posmičnih prigona alatnih strojeva
- izraditi potrebnu tehničku dokumentaciju izabranog modula posmičnog prigona
- pripremiti tehnološke programe za izradu svih sastavnih nestandardnih pozicija
- sudjelovati u nadzoru izrade pozicija i montaže posmičnog prigona alatnih strojeva.

U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

29. studenog 2018.

Rok predaje rada:

1. rok: 22. veljače 2019.

2. rok (izvanredni): 28. lipnja 2019.

3. rok: 20. rujna 2019.

Predviđeni datumi obrane:

1. rok: 25.2. - 1.3. 2019.

2. rok (izvanredni): 2.7. 2019.

3. rok: 23.9. - 27.9. 2019.

Zadatak zadao:

Prof. dr. sc. Damir Ciglar

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Branko Bauer

SADRŽAJ

| | |
|--|-----|
| POPIS SLIKA | III |
| POPIS TABLICA..... | V |
| SAŽETAK..... | VI |
| SUMMARY | VII |
| 1. UVOD | 1 |
| 2. VRSTE GIBANJA NA ALATNOM STROJU..... | 3 |
| 2.1. Glavno gibanje..... | 4 |
| 2.2. Pomoćno gibanje | 4 |
| 2.2.1. Posmično gibanje | 4 |
| 2.2.2. Dostavno gibanje..... | 4 |
| 3. VRSTE PRIGONA ZA POSMIČNO GIBANJE..... | 5 |
| 3.1. Posmični prigon kod klasičnih alatnih strojeva..... | 6 |
| 3.1.1. Trapezno navojno vreteno | 6 |
| 3.2. Posmični prigon kod numerički upravljanih alatnih strojeva..... | 7 |
| 3.2.1. Izvedba s kugličnim navojnim vretenom | 7 |
| 3.2.2. Izvedba s hlađenim kugličnim navojnim vretenom i dvodjelnom maticom | 8 |
| 3.2.3. Izvedba s linearnim motorom..... | 9 |
| 3.2.4. Posmični prigon za rotacijsko posmično gibanje | 11 |
| 4. KONSTRUKCIJA POSMIČNOG PRIGONA ZA LABORATORIJSKI POSTAV | 13 |
| 4.1. Sklop konstrukcije okvira vodilice | 14 |
| 4.1.1. Stražnja ploča vodilice | 15 |
| 4.1.2. Prednja ploča vodilice | 17 |
| 4.1.3. Bočne ploče vodilice | 19 |
| 4.1.4. Donja ploča vodilice..... | 21 |
| 4.1.5. Kućište prednjeg ležaja i pokrovna pločica kućišta | 22 |
| 4.1.6. Kućište stražnjeg ležaja | 24 |

| | | |
|-----------------|--------------------------------|----|
| 4.1.7. | Pločica motora..... | 26 |
| 4.1.8. | Spojna ploča | 26 |
| 4.1.9. | Vanjska pločica | 28 |
| 4.1.10. | Kuglično navojno vreteno | 28 |
| 4.1.11. | Tračnice | 30 |
| 4.1.12. | Prednji ležaj | 32 |
| 4.1.13. | Stražnji ležaj | 33 |
| 4.2. | Sklop klizne platforme..... | 34 |
| 4.2.1. | Klizna platforma..... | 35 |
| 4.2.2. | Kućište matice | 36 |
| 5. | ZAKLJUČAK | 38 |
| LITERATURA..... | | 39 |
| PRILOZI..... | | 41 |

POPIS SLIKA

| | |
|--|-----------|
| <i>Slika 1. Shematski prikaz proizvodnje [1].....</i> | <i>1</i> |
| <i>Slika 2. Sustav obrade odvajanjem čestica [1]</i> | <i>3</i> |
| <i>Slika 3. Podjela gibanja na alatnim strojevima [3]</i> | <i>3</i> |
| <i>Slika 4. Posmični prigon stola glodalice [5].....</i> | <i>5</i> |
| <i>Slika 5. Posmični prigon za pravocrtno gibanje kod klasičnih alatnih strojeva [6]</i> | <i>6</i> |
| <i>Slika 6. Trapezno navojno vreteno i dvodjelna matica [7]</i> | <i>7</i> |
| <i>Slika 7. Posmični prigon za pravocrtno gibanje kod NUAS [6]</i> | <i>7</i> |
| <i>Slika 8. Kuglično navojno vreteno i dvodjelna matica [8]</i> | <i>8</i> |
| <i>Slika 9. Prikaz hlađenja jednodjelne matice (lijevo) i dvodjelne (desno) [9]</i> | <i>9</i> |
| <i>Slika 10. Prikaz raspodjele temperature bez hlađenja matice (lijevo) i s hlađenjem matice (desno) [10].....</i> | <i>9</i> |
| <i>Slika 11. Linearni motor [12]</i> | <i>10</i> |
| <i>Slika 12. Horizontalni glodači obradni centar.....</i> | <i>11</i> |
| <i>Slika 13. Momentni motor (torque motor) [13]</i> | <i>12</i> |
| <i>Slika 14. CAD model sklopa konstrukcije modula posmičnog prigona</i> | <i>13</i> |
| <i>Slika 15. Prikaz smještaja komponenti u sklopu okvira vodilice</i> | <i>15</i> |
| <i>Slika 16. Stražnja ploča vodilice CAD model</i> | <i>15</i> |
| <i>Slika 17. Obrada stražnje ploče vodilice u prvom stezanju</i> | <i>16</i> |
| <i>Slika 18. Obrada stražnje ploče vodilice u drugom stezanju</i> | <i>16</i> |
| <i>Slika 19. Prednja ploča vodilice CAD model.....</i> | <i>17</i> |
| <i>Slika 20. Obrada prednje ploče vodilice u prvom stezanju.....</i> | <i>18</i> |
| <i>Slika 21. Obrada prednje ploče vodilice u drugom stezanju</i> | <i>19</i> |
| <i>Slika 22. Bočne ploče vodilice CAD model.....</i> | <i>20</i> |
| <i>Slika 23. Montaža bočnih ploča vodilice</i> | <i>20</i> |
| <i>Slika 24. Donja ploča vodilice CAM model</i> | <i>21</i> |
| <i>Slika 25. Kućište prednjeg ležaja - dimenzije i CAD model.....</i> | <i>22</i> |
| <i>Slika 26. Izrada kućišta prednjeg ležaja</i> | <i>22</i> |
| <i>Slika 27. Pokrovna pločica kućišta prednjeg ležaja - vanjske dimenzije i CAD model</i> | <i>23</i> |
| <i>Slika 28. Izrađene pozicije pokrovne pločice i kućišta prednjeg ležaja.....</i> | <i>23</i> |
| <i>Slika 29. Kućište stražnjeg ležaja – dimenzije i CAD model</i> | <i>24</i> |
| <i>Slika 30. Izrada kućišta stražnjeg ležaja</i> | <i>25</i> |
| <i>Slika 31. Izrađena pozicija kućišta stražnjeg ležaja</i> | <i>25</i> |

| | |
|---|-----------|
| <i>Slika 32. Pločica motora- vanjske dimenzije i CAD model.....</i> | <i>26</i> |
| <i>Slika 33. Spojna ploča - vanjske dimenzije i CAD model</i> | <i>27</i> |
| <i>Slika 34. Montaža spojnih ploča</i> | <i>27</i> |
| <i>Slika 35. Vanjska pločica CAD model</i> | <i>28</i> |
| <i>Slika 36. Kataloški podatci sustava KNV i matice FSI izvedbe [15]</i> | <i>29</i> |
| <i>Slika 37. Izrada kugličnog navojnog vretena.....</i> | <i>29</i> |
| <i>Slika 38. Izrađene pozicije kugličnog navojnog vretena.....</i> | <i>30</i> |
| <i>Slika 39. Tračnica i vagoni klizači [16].....</i> | <i>31</i> |
| <i>Slika 40. Kataloške vrijednosti tračnice HGH 15CA i vagonskih klizača [16]</i> | <i>31</i> |
| <i>Slika 41. CAD model ležaja 7201 BECBP [17]</i> | <i>32</i> |
| <i>Slika 42. Karakteristike ležaja 7201 BECBP [17]</i> | <i>32</i> |
| <i>Slika 43. CAD model ležaja 6201-Z2 [18]</i> | <i>33</i> |
| <i>Slika 44. Karakteristike ležaja 6201-Z2 [18].....</i> | <i>33</i> |
| <i>Slika 45. Prikaz smještaja komponenti u sklopu klizne platforme</i> | <i>34</i> |
| <i>Slika 46. CAD model klizne platforme</i> | <i>35</i> |
| <i>Slika 47. Prikaz smještaja fiksiranog i slobodnog vagonskog klizača.....</i> | <i>35</i> |
| <i>Slika 48. Kućište matice – vanjske dimenzije i CAD model</i> | <i>36</i> |
| <i>Slika 49. Izrada kućišta matice</i> | <i>36</i> |
| <i>Slika 50. Izrađena pozicija kućišta matice</i> | <i>37</i> |

POPIS TABLICA

| | |
|---|-----------|
| <i>Tablica 1. Usporedba različitih prigona [14]</i> | <i>12</i> |
| <i>Tablica 2. Popis pozicija sklopa okvira vodilice.....</i> | <i>14</i> |
| <i>Tablica 3. Popis pozicija sklopa klizne platforme.....</i> | <i>34</i> |

SAŽETAK

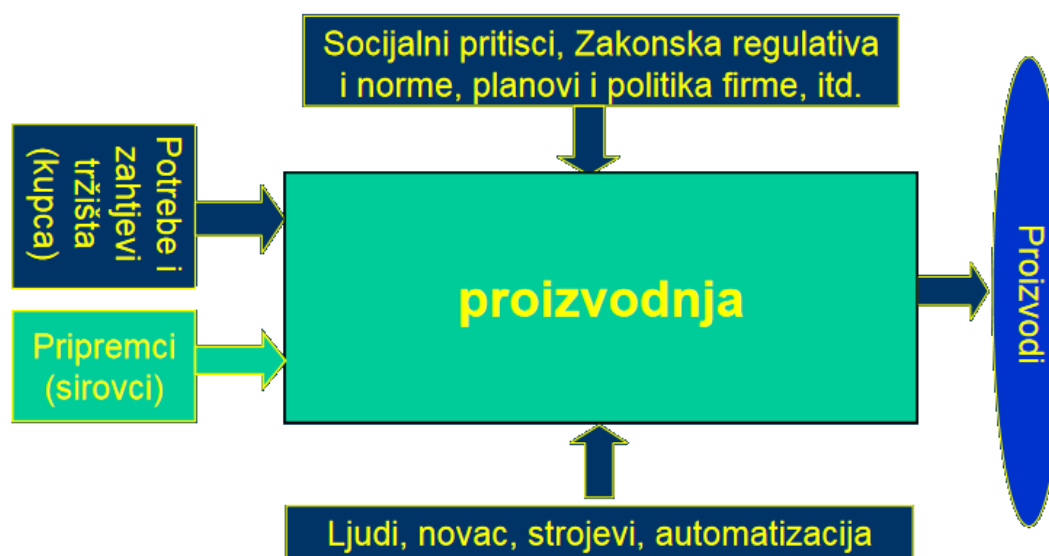
Vrlo važnu komponentu, prilikom gradnje alatnih strojeva, predstavlja modul posmičnog prigona. On osigurava kontinuitet posmičnog gibanja prilikom obrade odvajanjem čestica. U radu su prikazana najčešća dosadašnja rješenja posmičnih prigona. Prikazana je konstrukcija tri identična posmična prigona, koja predstavljaju laboratorijski postav. Svojom krutošću i dinamičnošću odgovara karakteristikama suvremenih rješenja. On će studentima Fakulteta strojarstva i brodogradnje u Zagrebu omogućiti edukaciju te olakšanu praktičnu nastavu kao i izvođenje laboratorijskih istraživanja. Rad sadržava detaljan prikaz svih pozicija koji čine modul posmičnog prigona. Isto tako, prikazana je njihova izrada i montaža u Laboratoriju za alatne strojeve.

SUMMARY

A very important component on the machine tool is a modulus of feed drive. It ensures the continuity of feed motion during processing by particle separation. This work presents the most commonly used solutions of feed drives. The structure is shown in three identical feed drives representing a laboratory setting. Its rigidity and dynamism correspond to the features of contemporary solutions. This solution will provide education and facilitate practical training as well as conducting laboratory research for students of the Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture in Zagreb. The work contains a detailed view of all the positions that make up the feed drive module. Also, their production and installation in the Laboratory of machine tools is presented.

1. UVOD

Razvoj alatnih strojeva započeo je prije oko 200 godina, a obilježava ga zamjena ljudskog rada strojevima. U prošlosti su promjene bile spore, no danas smo svjedoci naglih promjena koje ukazuju na znanstveni i tehnološki razvitak. Tehnološke promjene uzrokuju općenite promjene u proizvodnji i društvu te utječu na povećanje dohotka, a samim time i na poboljšanje životnog standarda. Prateći globalne trendove, sve više se teži boljoj kvaliteti života. Međutim, svestranost u mogućnostima i buran razvitak otežavaju praćenje svega što se u svijetu na znanstveno-tehničkim područjima događa. U novije vrijeme sve je veća potreba za ispunjenjem određenih zahtjeva koje suvremeno tržište nameće u pogledu proizvodnje i proizvodnih zahtjeva. Javlja se potreba za masovnom i serijskom proizvodnjom, uz minimalne troškove izrade, povećanu kvalitetu proizvoda te kraći rok isporuke. Suvremena proizvodnja može biti konkurentna na današnjem tržištu samo ako može brzo odgovoriti i ponuditi svoje rješenje na takve zahtjeve. Slika 1 shematski prikazuje okruženje suvremene proizvodnje.

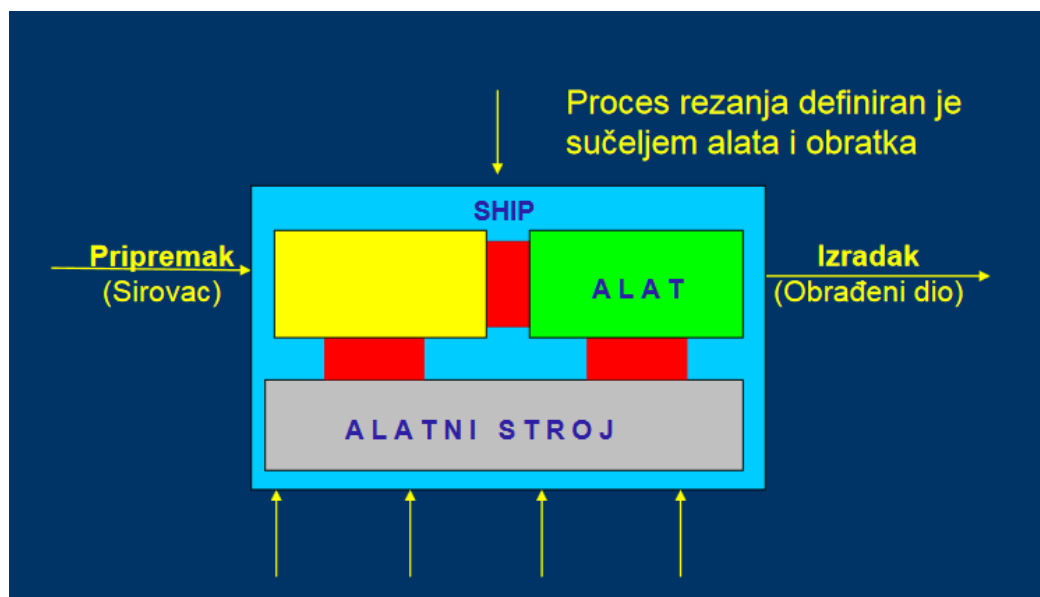


Slika 1. Shematski prikaz proizvodnje [1]

Razvitak fleksibilne tehnologije vodi suštinskom povećanju proizvodnosti i gospodarstvenosti proizvodnje. Da bi se to ostvarilo, potrebni su potpuno automatizirani sustavi kao što su obradne ćelije ili obradne stanice, koje pružaju izvođenje različitih operacija izrade te automatsko posluživanje. Sukladno tome, proizvođači alatnih strojeva moraju osigurati konstantno poboljšanje i povećanje mogućnosti alatnih strojeva. Suvremeni alatni strojevi i obradi sustavi lako su prilagodljivi za bilo koji tip industrijske proizvodnje i lako se mogu povezati u fleksibilne obradne sustave. Danas se izrađuju višenamjenski alatni strojevi suvremenih obilježja. Oni moraju ispunjavati visoke standarde vezane uz točnost i kvalitetu proizvoda. To znači da takvi sustavi moraju imati povećanu krutost te veliku snagu i brzinu, kako bi mogli izvoditi zahtjevne visokobrzinske operacije uz korištenje suvremenih reznih alata. Optimalnom iskoristivošću, alatnih strojeva i obradnih sustava, postiže se velika fleksibilnost. Uvođenjem moderne tehnologije, gledano s humanog aspekta, oslobađa se radnika od štetnog utjecaja procesa rada na zdravlje te napornog fizičkog rada, koji je često dosadan i monoton. U okviru takve modernizacije također se stavlja naglasak na modularnu gradnju alatnih strojeva. Dakle, suvremeni pristup projektiranju i gradnji obradnih strojeva je modularni, tj. stroj je sastavljen od standardiziranih sklopova i jedinki koji omogućuju brzo projektiranje i gradnju. Takvi strojevi su rekonfigurabilni, odnosno presloživi pa omogućuju brzu izmjenu komponenti alatnog stroja i imaju dobru produktivnost. Ta je karakteristika osobito važna danas kada suvremeno tržište zahtijeva brza rješenja i česte promjene. U ovom radu detaljno će biti opisan jedan od modula alatnih strojeva, to jest posmični prigon. Predstavlja osnovni modul alatnog stroja koji osigurava kontinuitet posmičnog gibanja prilikom obrade odvajanjem čestica. Prikazat će se najčešća dosadašnja rješenja posmičnih prigona te predstaviti projektiranje i izrada tri identična posmična prigona, koja će predstavljati laboratorijski postav. [2]

2. VRSTE GIBANJA NA ALATNOM STROJU

Obrada odvajanjem čestica definirana je kao proces u kojem se konačni oblik izratka dobije skidanjem čestica s početnog komada materijala (sirovca). Pripremak (sirovac) ulazi u proces i kao takav predstavlja komad prije obrade, slika 2, obradak je komad koji je stegnut na alatnom stroju, a izradak je obrađeni dio i kao takav izlazi iz procesa obrade. Izradak ima točno određenu geometriju, toleranciju te zahtijevanu kvalitetu obrađene površine. Iz ovakvog procesa izlazi proizvod dodane vrijednosti.



Slika 2. Sustav obrade odvajanjem čestica [1]

Da bi se to ostvarilo, potrebna su odgovarajuća gibanja na alatnom stroju. Gibanja na alatnim strojevima, slika 3, dijele se na glavno i pomoćno, a pomoćno gibanje dijeli se na posmično i dostavno. [3]



Slika 3. Podjela gibanja na alatnim strojevima [3]

2.1. Glavno gibanje

Najveći postotak snage, koja je potrebna alatnom stroju, troši se upravo na izvođenje glavnog gibanje pri obradi odvajanjem čestica te stvara odvojenu česticu. Opisuje kao v_c , odnosno brzina rezanja. Ovisno o vrsti obrade glavna gibanja mogu biti različita. Svrstavamo ih u dvije skupine: kružno glavno gibanje - rotacijsko (najčešće kod tokarenja, brušenja, bušenja i glodanja) te pravocrtno glavno gibanje - translacijsko (npr. kod provlačenja, blanjanja). Kružno glavno gibanje je češće, a glavno gibanje može izvoditi ili alat ili obradak, dok sami proces obrade može biti kontinuirani ili diskontinuirani.

2.2. Pomoćno gibanje

2.2.1. Posmično gibanje

Posmično gibanje omogućava stalnost procesa obrade odvajanjem čestica i izvodi se posmičnom brzinom v_f . Posmično gibanje, ovisno o procesu obrade, može biti kružno (rotacijsko) ili pravocrtno (translacijsko) te kontinuirano ili diskontinuirano, a izvode ga ili alat ili obradak. Brojni parametri prilikom obrade ovise o posmičnoj brzini (npr. trošenje alata, kvaliteta obrađene površine, zagrijavanje alata i obradaka), a obično je zadana u katalogu alata od strane proizvođača.

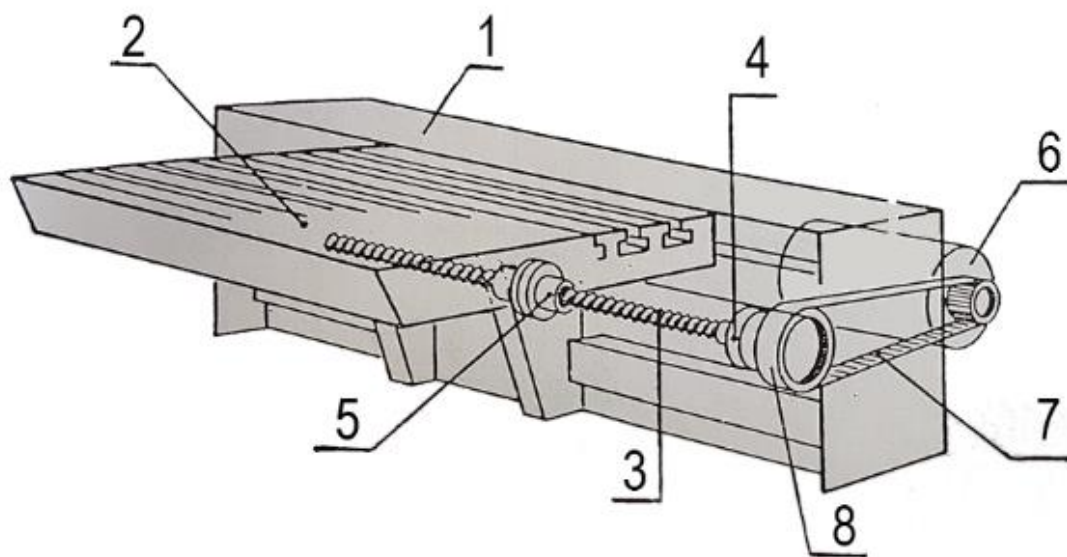
2.2.2. Dostavno gibanje

Dostavno gibanje opisuje se kao gibanje izvan obrade. Karakteristika ovog gibanja je zauzimanje dubine rezanja a_p , kao i za primicanje i odmicanje alata i obradka prilikom procesa obrade, odnosno dostavnim gibanjem se dovode alat ili obradak u zahvat ili izvode iz zahvata.

3. VRSTE PRIGONA ZA POSMIČNO GIBANJE

Spomenuto je da pomoćno gibanje svrstava posmično i dostavno gibanje, a oba se gibanja na alatnom stroju izvode istim prignonom. Prigon pomoćnog gibanja mora omogućiti izvedbu svih potrebnih gibanja osi i kontinuirano odvijanje procesa obrade odvajanjem čestica, mora osigurati gibanja potrebna za primicanje i odmicanje te zauzimanje dubine obrade te promjenu vrijednosti tih pomoćnih gibanja. Posmični prigoni, slika 4, slični su glavnim prignonima, ali su manjih snaga. Posmični prigon mora omogućiti promjenu vrijednosti posmične brzine v_f zbog različite zahtijevane kvalitete obrade, a dostavno gibanje se izvodi maksimalnom posmičnom brzinom. Općenito glavni dijelovi posmičnih pogona su:

- Pogon – istosmjerni ili izmjenični servo motor, koračni motor
- Mehanički prijenosnici – spojke, remenski, zupčani prijenos
- Izvršni elementi – navojno vreteno i dvodjelna matica
- Upravljački sustav – kontroleri, senzori, mjerni sustav [4]

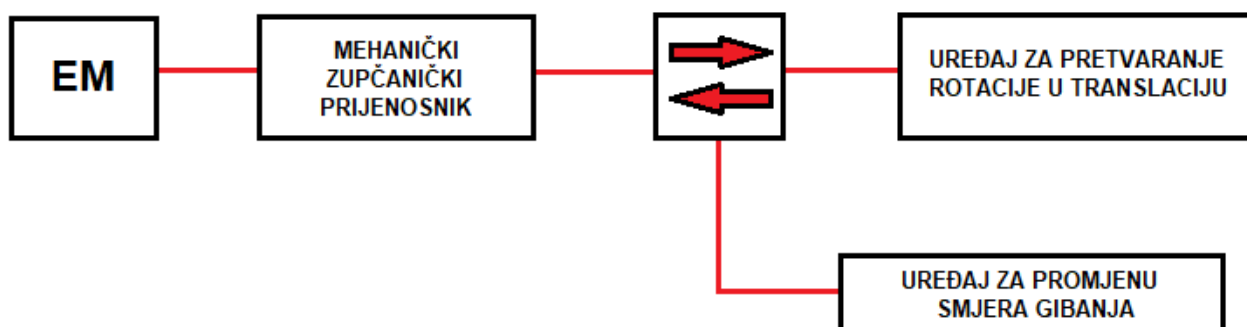


1-poprečni nosač, 2-stol, 3-kuglično navojno vreteno (KNV), 4-uležištenje KNV
5-matica KNV, 6-pogonski motor (KM, DC ili AC), 7-zupčasti remen, 8-remenica

Slika 4. Posmični prigon stola glodalice [5]

3.1. Posmični prigon kod klasičnih alatnih strojeva

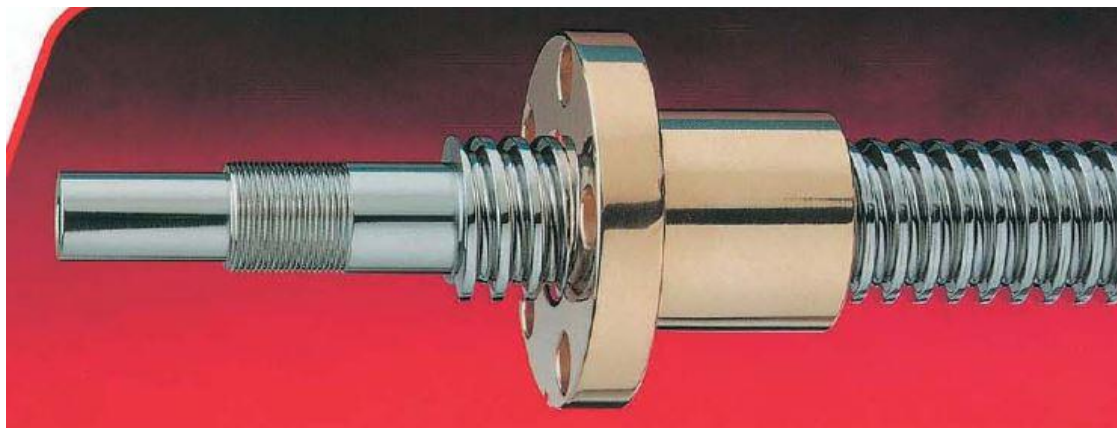
Posmični prigon za pravocrtno gibanje kod klasičnih alatnih strojeva za pravocrtno gibanje sastoji se od zasebnih dijelova koji su međusobno povezani u sustav. Posmično gibanje se ostvaruje pomoću elektromotora koji električnu energiju pretvara u mehaničku energiju. Snaga se prenosi putem spojke i mehaničkih prijenosnika (remenski, zupčani prijenos) do izvršnih elemenata, slika 5. Za promjenu smjera gibanja služi uređaj za promjenu smjera gibanja koji je povezan s uređajem za pretvaranje rotacije u translaciju. Pretvaranje rotacijskog u translacijsko gibanje izvedeno je pomoću trapeznog navojnog vretena i dvodjelne matice. Dodatne mogućnosti su pomoću zupčanika i zupčane letve, ili pužnog vijka i pužne letve. Ipak najčešće rješenje je trapezno navojno vreteno i dvodijelna matica. [6]



Slika 5. Posmični prigon za pravocrtno gibanje kod klasičnih alatnih strojeva [6]

3.1.1. Trapezno navojno vreteno

Trapezno navojno vreteno predstavlja mehaničku napravu koja omogućava pretvaranje rotacijskog gibanja u pravocrtno koristeći dvodjelnu maticu, slika 6. Trapezna navojna vretena imaju manju efikasnost i veće radijalno opterećenje na samo vreteno. Česta uporaba trapeznih vretena nalazi se kod posmičnih prigona na klasičnim alatnim strojevima, auto dizalicama, vijčanim prešama te transportnim sustavima.



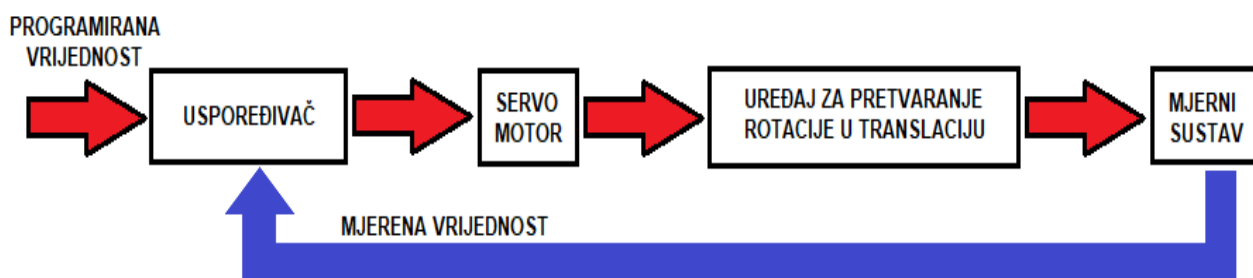
Slika 6. Trapezno navojno vreteno i dvodjelna matica [7]

3.2. Posmični prigon kod numerički upravljanih alatnih strojeva

Posmični prigon kod numerički upravljanih alatnih strojeva ostvaruje kontinuiranu promjenu posmičnog gibanja i osigurava točnost obrade. Razlikuju se dvije izvedbe posmičnih prigona za pravocrtno gibanje kod numerički upravljanih alatnih strojeva.

3.2.1. Izvedba s kugličnim navojnim vretenom

Na početku sustava ulazna vrijednost predstavlja željeni položaj alata ili obratka. Položaj se zauzima pomoću servomotora koji osigurava okretni moment. Servomotori koji se koriste su istosmjerni kolektorski motori (DC) ili asinkroni kavezni motori (AC). Uređaj za pretvaranje rotacije u translaciju zauzima određeni položaj klizača. Koristi se kuglično navojno vreteno i dvodjelna matica s kugličnim elementima, jer se tako smanjuje trenje između vretena i matice, omogućavaju se veće posmične brzine te se postiže manja zračnost. Mjerni sustav kontrolira položaj klizača i šalje povratnu informaciju u uspoređivač, slika 7. Na kućište dvodjelne matice steže se nosač obratka ili alata, ovisno o tipu alatnog stroja. [6]



Slika 7. Posmični prigon za pravocrtno gibanje kod NUAS [6]

Kuglično navojno vreteno s dvodjelnom maticom, slika 8, je mehanička naprava koja služi za pretvaranje rotacijskog gibanja u pravocrtno. Njegovo korištenje je pogodno zbog malog trenja između vretena i matice koja sadrži kuglične elemente. Kuglice unutar matice se koturaju po kugličnom navojnom vretenu pa se javlja trenje kotrljanja. Moguće je ostvariti velike brzine gibanja, kao i ubrzanja. Ovakvo rješenje nudi veliku preciznost pa se zato danas koriste pri izradi suvremenih obradnih sustava. Također primjenjuju se u prehrambenoj i farmaceutskoj industriji, kao i u izradi transportnih linija, robota i slično.

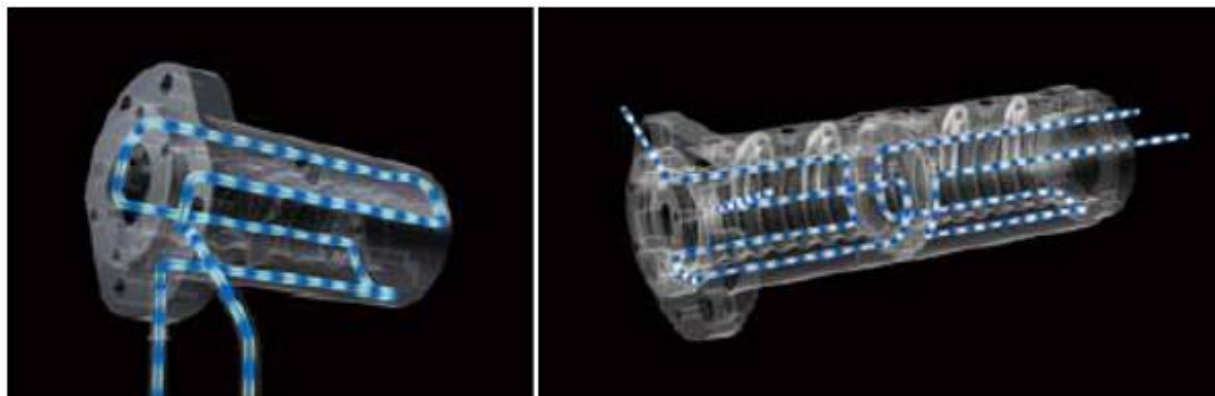


Slika 8. Kuglično navojno vreteno i dvodjelna matica [8]

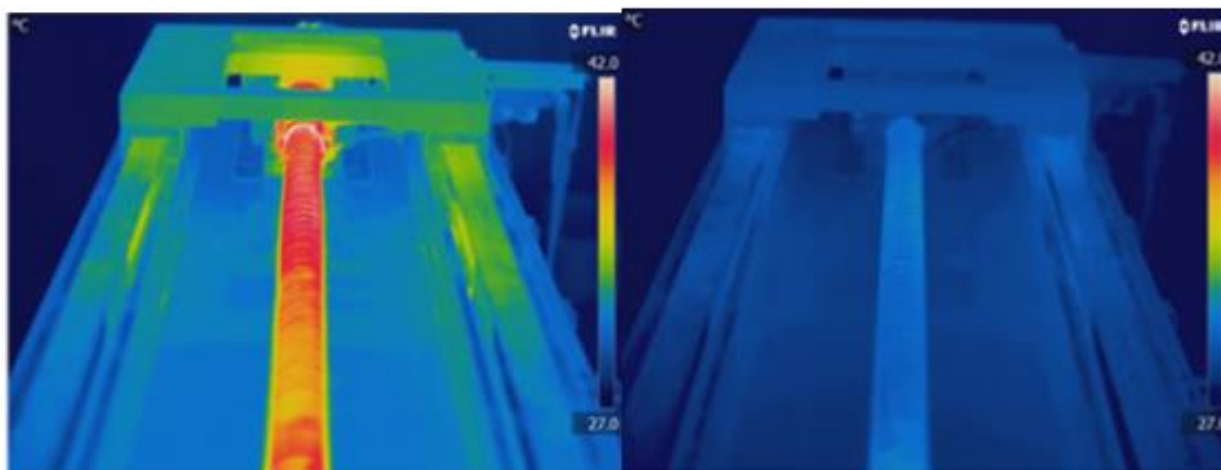
3.2.2. Izvedba s hlađenim kugličnim navojnim vretenom i dvodjelnom maticom

Hlađeno kuglično navojno vreteno s dvodjelnom maticom razvilo se zbog potrebe za što većom brzinom i preciznosti posmičnih gibanja. U početku, hlađenje se izvodilo kroz šuplje navojno vreteno. Danas se hlađenje obično izvodi pomoću matice kugličnog navojnog vretena u koju je ugrađen sustav za hlađenje. Slika 9 prikazuje cirkulaciju rashladnog medija koja se odvija kroz izvedene kanale u matici. Ako sustav navojnog vretena i matice nije hlađen, dolazi do razvitka topline i zagrijavanja elemenata, što može negativno utjecati na točnost posmičnog gibanja. Na slici 10 prikazana je raspodjela temperature za slučaj kada se matica ne hladi i kada se hladi.

Ovakva izvedba pogodna je za obradne strojeve koji izvode kratka posmična gibanja uz visoke posmične brzine. Jednostavna implementacija i niska cijena sustava također su prednosti koje nudi ovakva izvedba [9].



Slika 9. Prikaz hlađenja jednodjelne matice (lijevo) i dvodjelne (desno) [9]



Slika 10. Prikaz raspodjele temperature bez hlađenja matice (lijevo) i s hlađenjem matice (desno) [10]

3.2.3. Izvedba s linearnim motorom

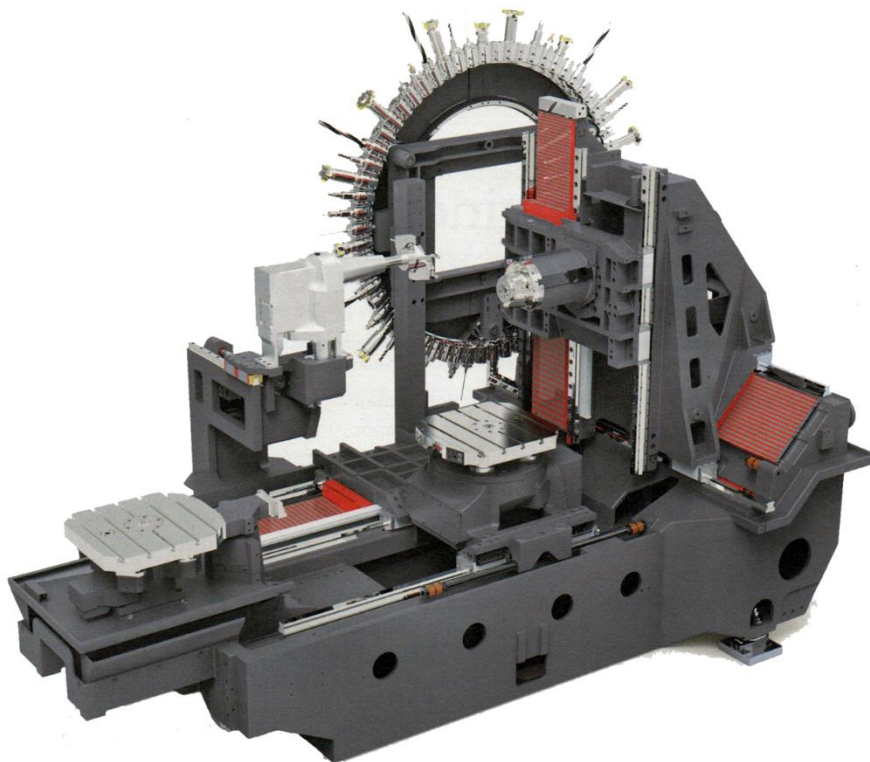
Druga izvedba koja se danas koristi pri konstrukciji pravocrtnih posmičnih prigona kod numerički upravljanih alatnih strojeva je linearni motor. To je poseban oblik elektromotora s razdvojenim rotorom i statorom između kojih nastaju bezkontaktne magnetne sile. Linearni motor sam po sebi ne može funkcionirati bez linearnih vodilica koje održavaju pravocrtnost gibanja i drže konstantu zračnost između rotora i statora. Neka od svojstava linearnih motora su mogućnost ostvarivanja velikih vrijednosti posmične brzine, visoka dinamičnost, izvanredna

preciznost, primjena za duge hodove, jednostavna montaža i održavanje, smanjenje buke i vibracija. Promjena vrijednosti posmičnog gibanja je kontinuirana, a ovakav oblik izvedbe je vrlo skup. Linearni motori imaju manju mehaničku nosivost i da se ne bi previše zagrijavali, moraju se hladiti. Linearni motor, slika 11, može se predstaviti kao prigon budućnosti zbog svih svojih prednosti koje su navedene. [11]



Slika 11. Linearni motor [12]

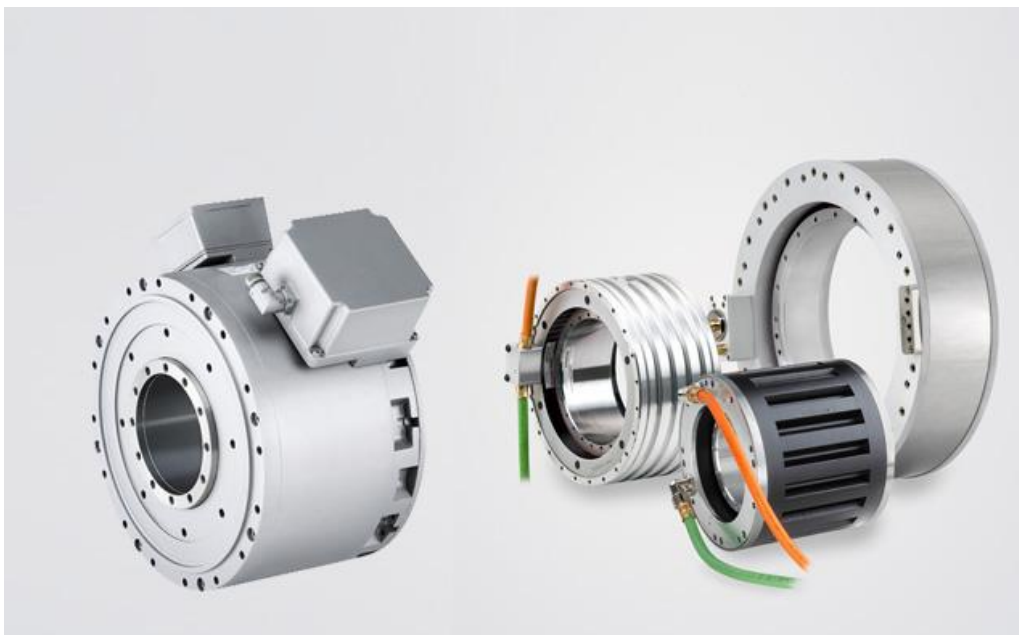
Slika 12 prikazuje horizontalni glodači obradni centar s 4 osi. Jednu os čini rotacija stola-obradak, dok od preostale tri pravocrtne osi X, Y, i Z, obradak čini jednu, a glavno vreteno druge dvije osi stroja. Posmični prigon za svaku od te 3 osi je izvedba s linearnim motorom.



Slika 12. Horizontalni glodači obradni centar

3.2.4. Posmični prigon za rotacijsko posmično gibanje

U današnje vrijeme, posmični prigon za rotacijsko posmično gibanje, obično je izvedba s momentnim motorom (torque motor). Predstavlja linearni motor koji je složen na kružni vijenac. Omogućava veliki zakretni moment te učestalosti vrtnje do 4500 min^{-1} . Torque motor, slika 13, je vrlo krut te iznimno precizan jer ne sadrži nikakve međuelemente, a nedostatak je što ga je potrebno hladiti. Primjenjuje se za dinamička rotacijska gibanja (magazin alata, zakretne glave, rotacijski stolovi), a može se koristiti i kao glavni rotacijski prigon kod tokarilice.



Slika 13. Momentni motor (torque motor) [13]

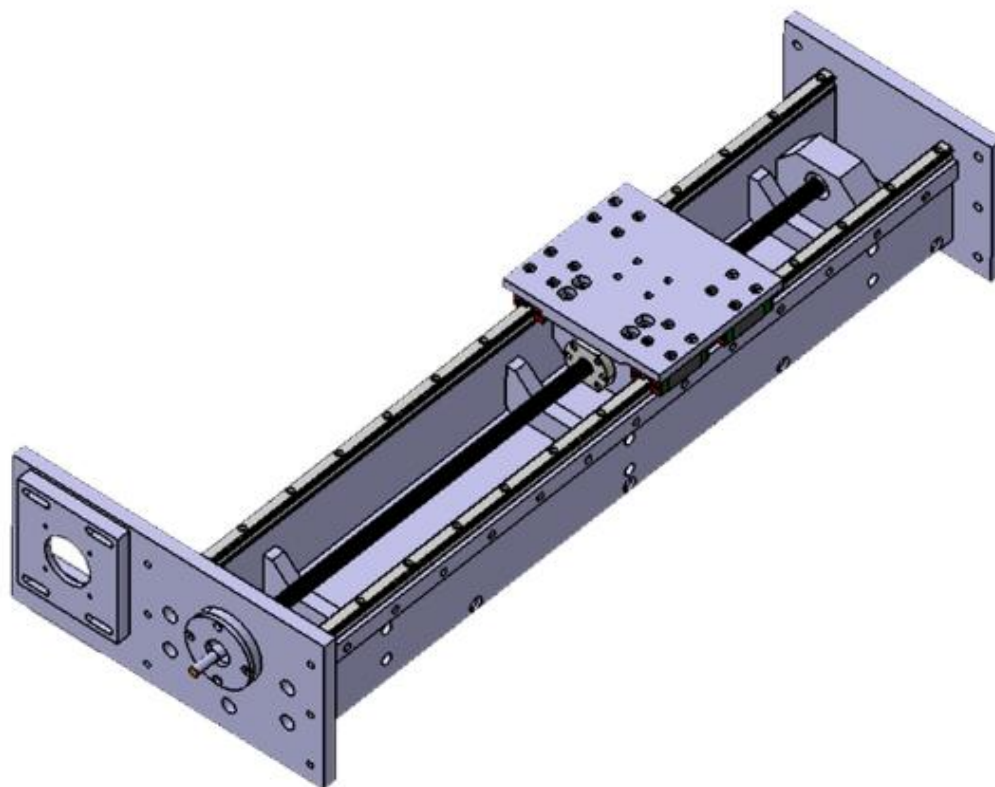
Usporedne karakteristike različitih izvedbi posmičnih prigona za pravocрно posmično i dostavno gibanje prikazane su u tablici 1.

Tablica 1. Usporedba različitih prigona [14]

| | TRAPEZNO NAVOJNO VRETENO | KUGLIČNO NAVOJNO VRETENO | LINEARNI MOTOR |
|---------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------|
| BRZINE | male | velike | vrlo velike |
| POZICIONIRANJE | umjereno | lagano | vrlo lagano |
| VIJEK TRAJANJE | malo | umjereno | veliko |
| UDARNO OPTEREĆENJE | vrlo veliko | umjereno | veliko |
| TRENJE | veliko | malo | malo |
| EFIKASNOST | $\geq 40 \%$ | $\geq 90 \%$ | $\geq 98 \%$ |

4. KONSTRUKCIJA POSMIČNOG PRIGONA ZA LABORATORIJSKI POSTAV

Modul posmičnog prigona je sastavni dio obradnih strojeva i pomoću njega se izvode posmična gibanja. Zbog zauzetosti strojeva, ali i zbog edukacije i boljeg praktičnog dijela nastave studenata Fakulteta strojarstva i brodogradnje u Zagrebu, projektirana su tri identična laboratorijska postava. Laboratorijski postavi omogućit će studentima simulaciju i programiranje posmičnih osi. Pružat će mogućnosti upravljanja svake osi pojedinačno kao i njihovo uparivanje. Na taj način moguće je stvoriti dvoosni ili troosni sustav. Konstrukcija laboratorijskog postava prikazana je na slici 14. Zbog jednostavnijeg prikaza konstrukcija će biti podijeljena u dva sklopa. Prvi sklop predstavlja okvir vodilice, a drugi sklop klizne platforme. Konstrukcija je izrađena u Laboratoriju za alatne strojeve, a detaljan tijek izrade i montaže bit će prikazani u nastavku.



Slika 14. CAD model sklopa konstrukcije modula posmičnog prigona

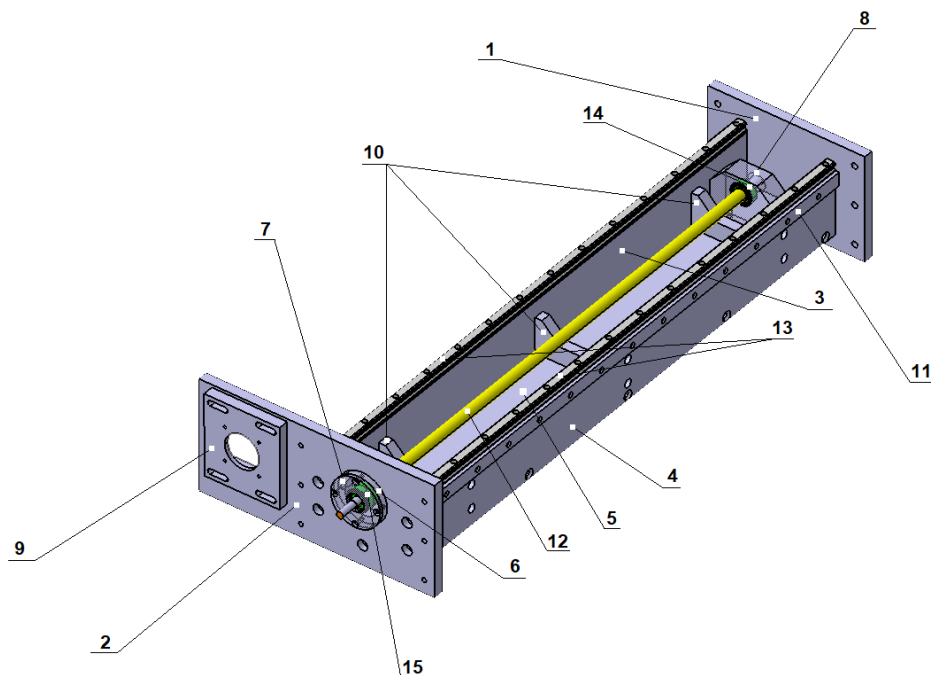
4.1. Sklop konstrukcije okvira vodilice

Sklop konstrukcije sastoji se od petnaest pozicija čiji su nazivi i količine navedeni u tablici 2. Prilikom izrade konstrukcije korištene su neke standardne, ali najvećim dijelom nestandardne komponente koje je bilo potrebno konstruirati i izraditi. Postav je konstruiran od aluminijskog okvira vodilica koje čine kompaktnu cjelinu, dovoljne krutosti i zadovoljavajuće preciznosti. Na okvir su montirani aluminijska pločica za prihvat servomotora, te kućište prednjeg i stražnjeg ležaja. Ležajna mjesta predstavljaju oslonce kugličnog navojnog vretena s dvodjelnom maticom. Pozicije vodilica povezane su vijčanim spojevima. Sve pozicije zahtijevaju CAD modele, kao i CAM programe izrađene je u software-u CATIA P3 V5 R21.

Tablica 2. Popis pozicija sklopa okvira vodilice

| BROJ POZICIJE | NAZIV POZICIJE | KOLIČINA |
|---------------|-----------------------------|----------|
| 1 | Stražnja ploča vodilice | 1 |
| 2 | Prednja ploča vodilice | 1 |
| 3 | Lijeva bočna ploča vodilice | 1 |
| 4 | Desna bočna ploča vodilice | 1 |
| 5 | Donja ploča vodilice | 1 |
| 6 | Kućište prednjeg ležaja | 1 |
| 7 | Pokrovna pločica kućišta | 1 |
| 8 | Kućište stražnjeg ležaja | 1 |
| 9 | Pločica motora | 1 |
| 10 | Spojna ploča | 3 |
| 11 | Vanjska pločica | 1 |
| 12 | Kuglično navojno vreteno | 1 |
| 13 | Tračnica | 2 |
| 14 | Donji ležaj | 1 |
| 15 | Gornji ležaj | 2 |

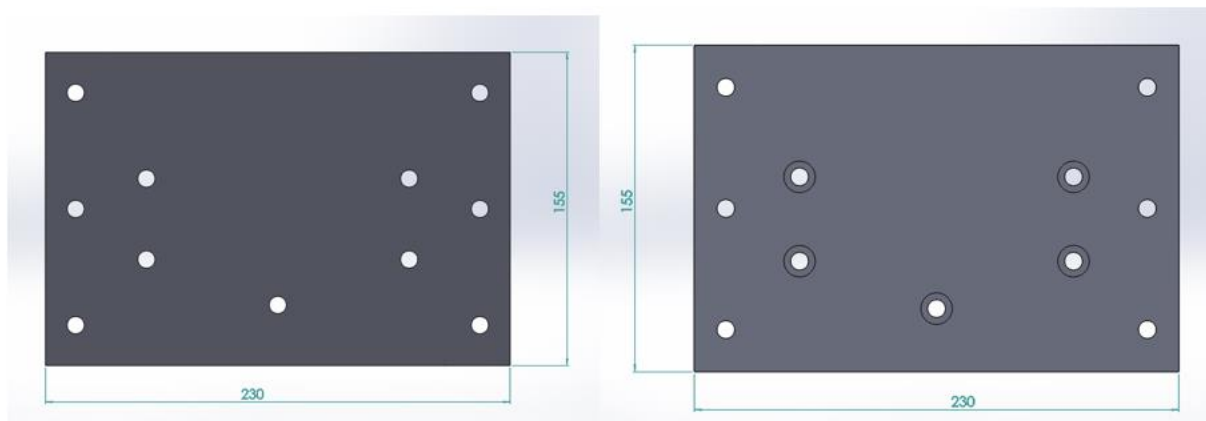
Navedene komponente čine sklop okvira vodilice, a njihov smještaj u sklopu prikazan je na slici 15.



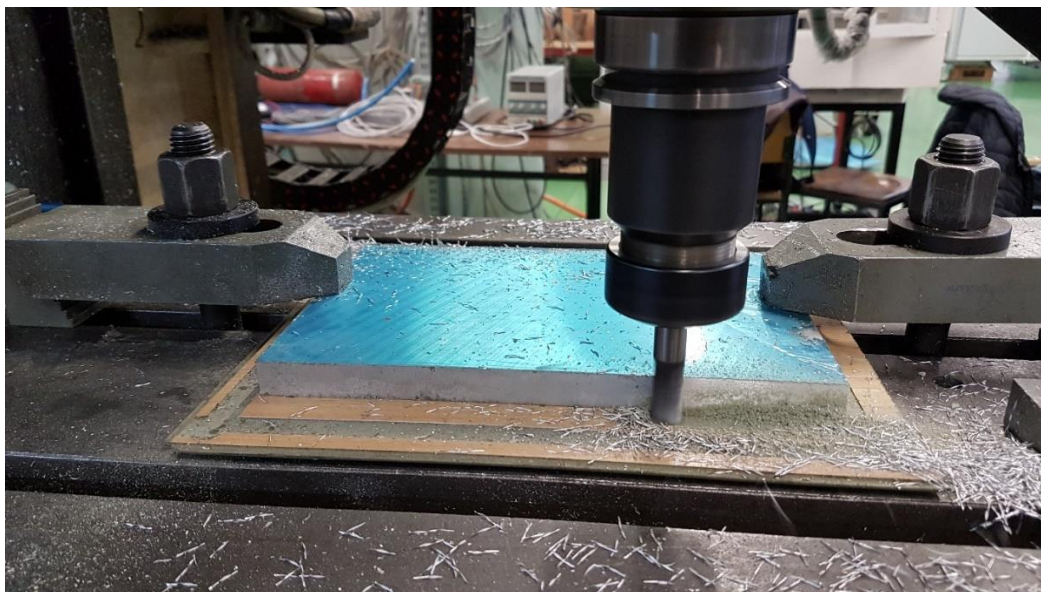
Slika 15. Prikaz smještaja komponenti u sklopu okvira vodilice

4.1.1. Stražnja ploča vodilice

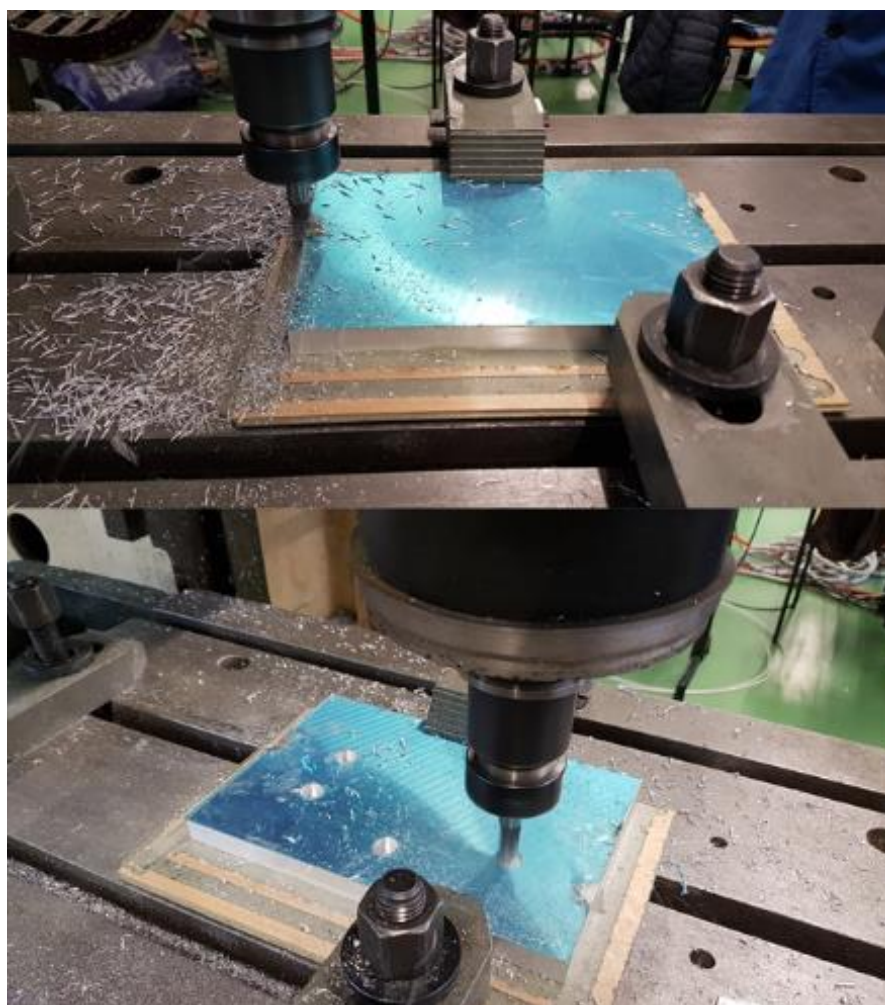
Stražnja ploča vodilice (pozicija 1) izrađena je od aluminijske legure AlMgSi0,5. Debljina stijenke iznosi 15mm, a vanjske dimenzije prikazane su na slici 16. Pripremak je izrezan vodenim mlazom na približne dimenzije, uz ostavljen dodatak za obradu. Strojna obrada izvodila se u dva stezanja na CNC glodalici u Laboratoriju za alatne strojeve. Način prvog stezanja te glodanje horizontalnih stranica prikazano je na slici 17, a slika 18 prikazuje način drugog stezanja te glodanje vertikalnih stranica, bušenje provrta te izradu upuštenja za vijke. Stražnja ploča vodilice povezana je s lijevom i desnom bočnom pločom (pozicije 3 i 4) te s donjom pločom vodilice (pozicija 5). Vijčani spojevi izvedeni su pomoću pet imbus vijaka M8.



Slika 16. Stražnja ploča vodilice CAD model



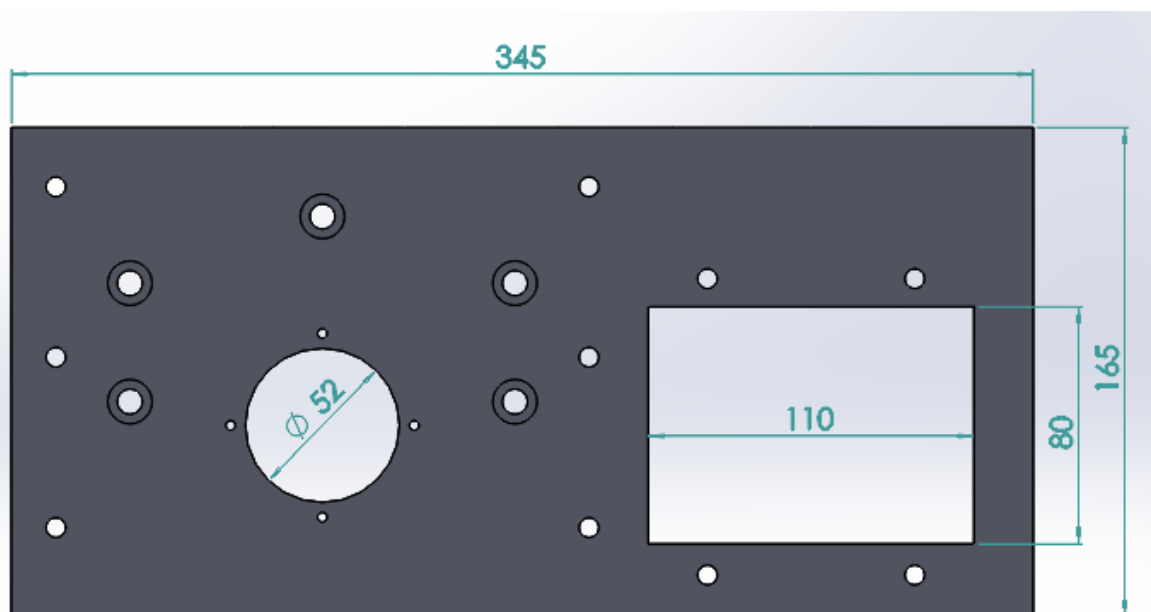
Slika 17. Obrada stražnje ploče vodilice u prvom stezanju



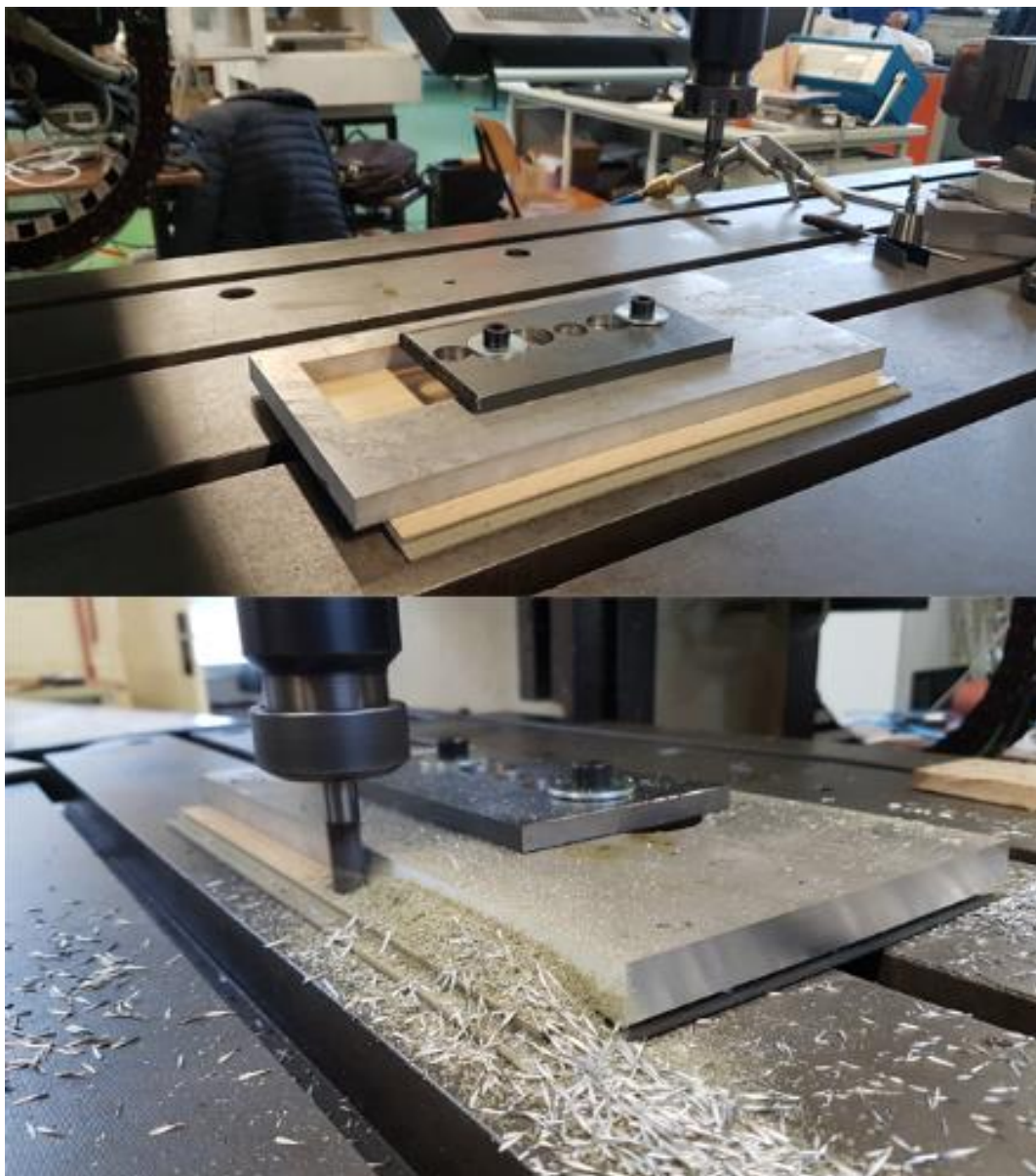
Slika 18. Obrada stražnje ploče vodilice u drugom stezanju

4.1.2. Prednja ploča vodilice

Prednja ploča vodilice (pozicija 2) konstrukcijski je zahtjevnija od stražnje ploče (pozicija 1), jer služi za prihvat kućišta prednjeg ležaja (pozicija 6) te za prihvat servomotora. Prihvat servomotora izveden je pomoću pravokutnog utora širine 110mm i visine 80mm na kojeg se postavlja pločica motora (pozicija 9). Ona omogućava pomicanje servomotora ovisno o potrebnoj nategnutosti remena. Prednja ploča vodilice također je izrađena iz AlSiMg0,5 s debljinom stijenke od 15mm, a vanjske dimenzije prikazane su na slici 19. Vodenim mlazom izrezana je ploča uz dodatak za obradu, također izveden je pravokutni utor te provrt za prihvat kućišta prednjeg ležaja (pozicija 6). Strojna obrada ove pozicije sastoji se od dva stezanja. U prvom stezanju, koje je prikazano na slici 20, prikazan je način prvog stezanja te obrada vanjskih stranica na zadanu mjeru. Slika 21, prikazuje način drugog stezanja te izradu provrta, upuštenja za vijke te obradu prihvata za kućište prednjeg ležaja.



Slika 19. Prednja ploča vodilice CAD model



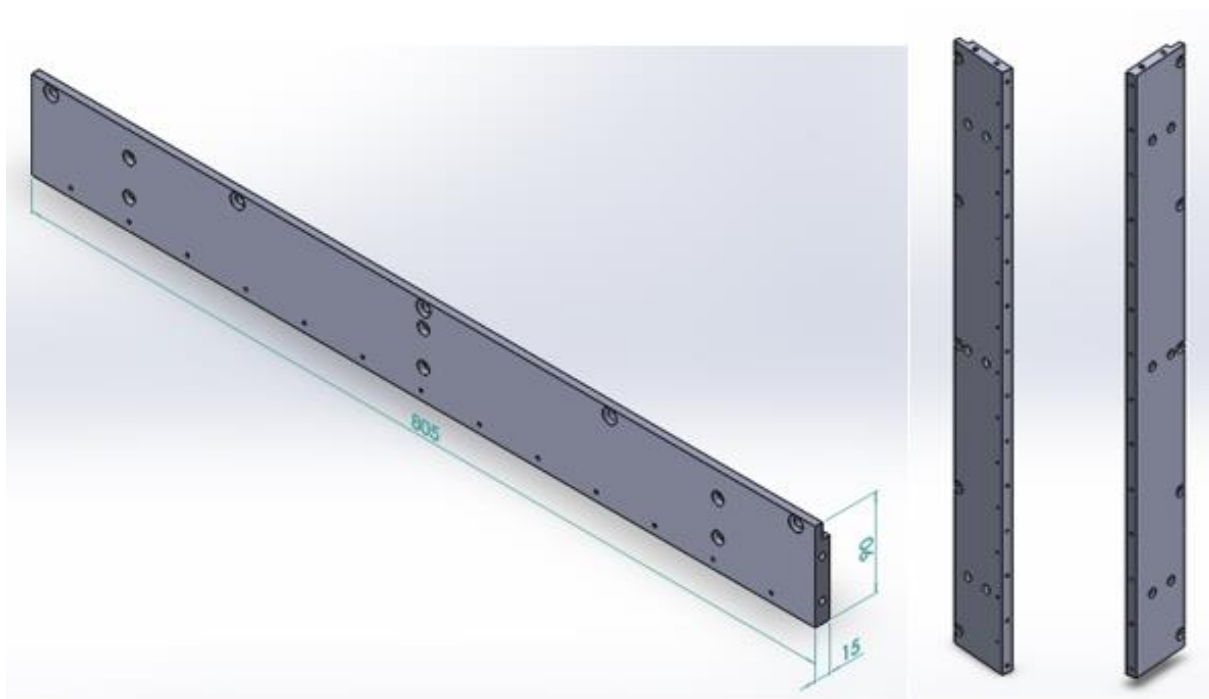
Slika 20. Obrada prednje ploče vodilice u prvom stezanju



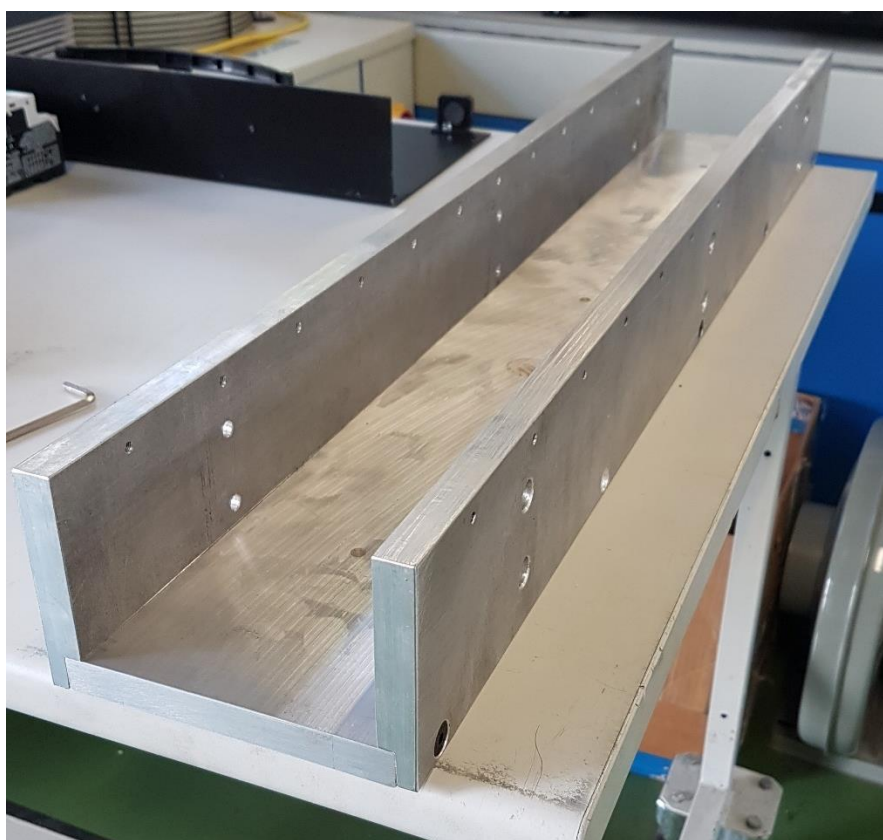
Slika 21. Obrada prednje ploče vodilice u drugom stezanju

4.1.3. Bočne ploče vodilice

Bočne ploče vodilice (pozicije 3 i 4) služe za povezivanje cijelog sklopa okvira vodilice, a njihove dimenzije su 805x90x15 mm kao što je prikazano na slici 22. Na stražnjoj strani bočnih ploča nalaze se utori debljine 15mm u koje se umeće donja ploča (pozicija 5) i povezuje pomoću pet vijaka M8, slika 23. Za dodatnu krutost montiraju se i tri spojne ploče (pozicija 10) međusobno razmaknute za 302,5mm. Spojne ploče povezane su s bočnim pločama pomoću šest vijaka M6. Na bočne ploče montiraju se tračnice (pozicija 13) po kojima klizi platforma (pozicija 17) pomoću vagonskih klizača (pozicija 18). Tračnice su učvršćene s četrnaest vijaka M5 međusobno razmaknutih za 60mm. Desna bočna ploča predstavlja ploču koja fiksira jednu tračnicu od radijalnog pomaka, a fiksiranje je izvedeno pomoću vanjske pločice (pozicija 11) koja se pomoću trinaest vijaka M4 montirana na vanjsku bočnu stranu. Strojna obrada sastoji se od glodanja vanjskih stranica, glodanja utora te izrade različitih provrta i upuštenja.



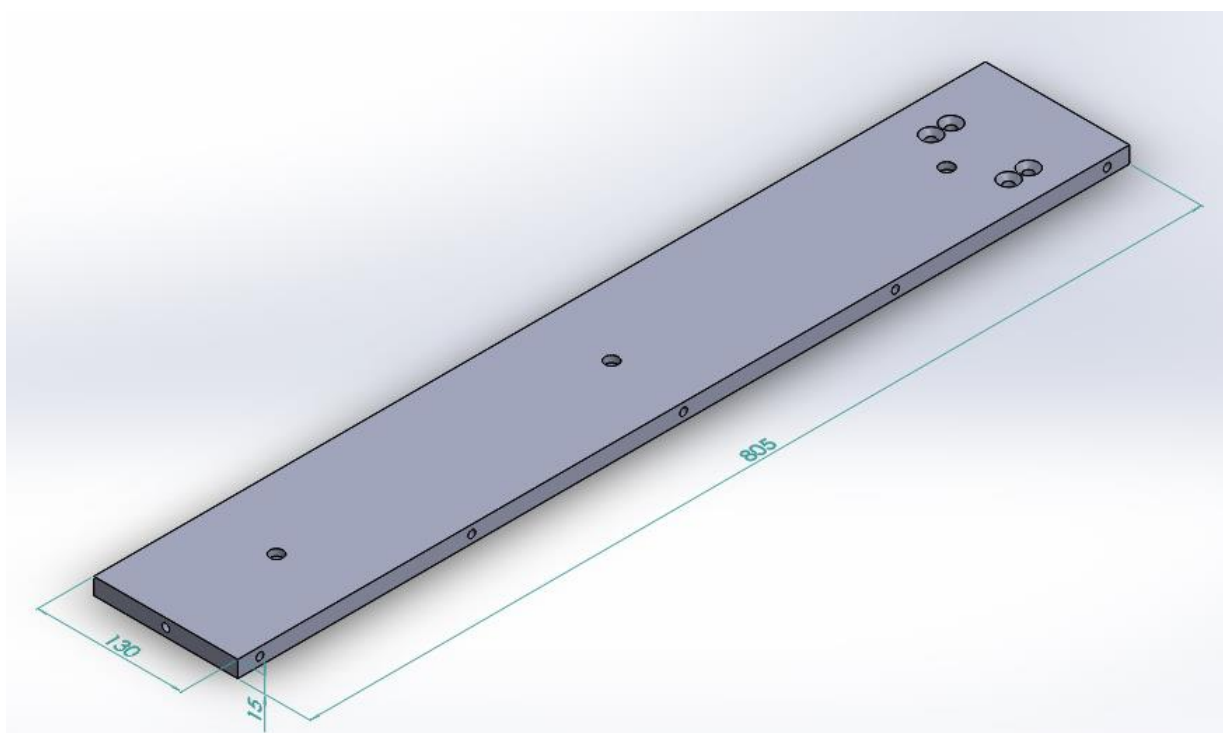
Slika 22. Bočne ploče vodilice CAD model



Slika 23. Montaža bočnih ploča vodilice

4.1.4. Donja ploča vodilice

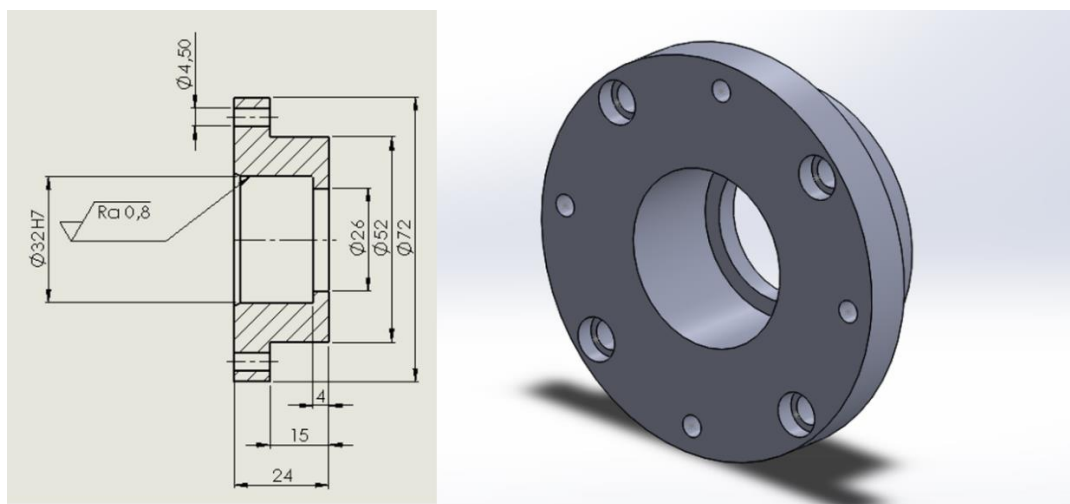
Donja ploča vodilice (pozicija 5) je pozicija dimenzija 805x130x15mm, a izrađena je od AlSiMg0,5. Povezana je s prednjom (pozicija 2) i stražnjom pločom vodilice (pozicija 1) pomoću jednog vijka M8 s gornje i donje strane. Također povezana je i s bočnim pločama (pozicije 3 i 4) s pet vijaka M8 sa svake strane. Ukrućenja u obliku spojnih ploča (pozicija 10) montiraju se i na donju ploču vodilice pomoću tri vijka M6. Donja ploča vodilice ima i funkciju prihvata kućišta stražnjeg ležaja (pozicija 8), a zajedno s bočnim pločama spojenim na prednju i stražnju ploču čini zatvoreni okvir. Strojna obrada sastoji se od glodanja vanjskih stranica te izrade provrta i upuštenja. Donja ploča vodilice s vanjskim dimenzijama prikazana je na slici 24.



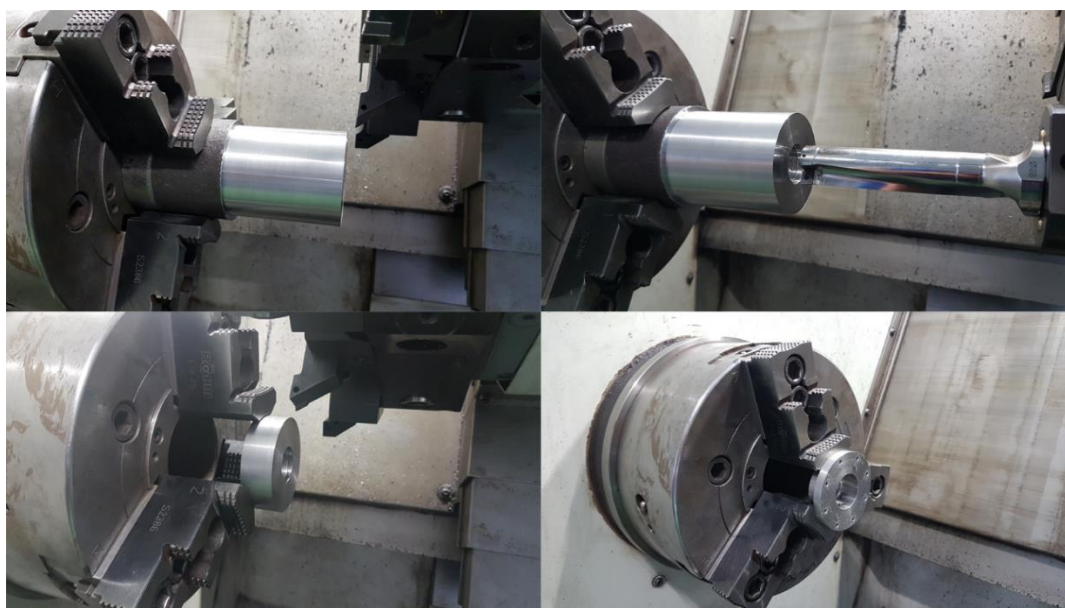
Slika 24. Donja ploča vodilice CAM model

4.1.5. Kućište prednjeg ležaja i pokrovna pločica kućišta

Kao konstrukcijsko rješenje za prihvat ležajeva u gornjem osloncu izrađeno je čelično kućište prednjeg ležaja (pozicija 6) s čeličnom pokrovnom pločicom kućišta (pozicija 7). Kućište omogućava prihvat dva identična kuglična ležaja s kosim dodirom oznake 7201 BECBP (pozicija 15). Predviđena je ugradnja dva ležaja, koristeći „O“ ili „X“ raspored. Unutarnji provrt kućišta izrađen je u tolerancijskom polju H7 i predstavlja dosjedno mjesto između kućišta i ležajeva. Kućište se montira na prednju ploču vodilice (pozicija 2) i pričvršćuje pomoću četiri vijka M4. Izrada kućišta izvodila se na tokarskom obradnom centru u Laboratoriju za alatne strojeve. Oblik i dimenzije kućišta prednjeg ležaja prikazane su na slici 25. Strojna obrada izvedena je u više stezanja, a dio ciklusa izrade prikazan je na slici 26.

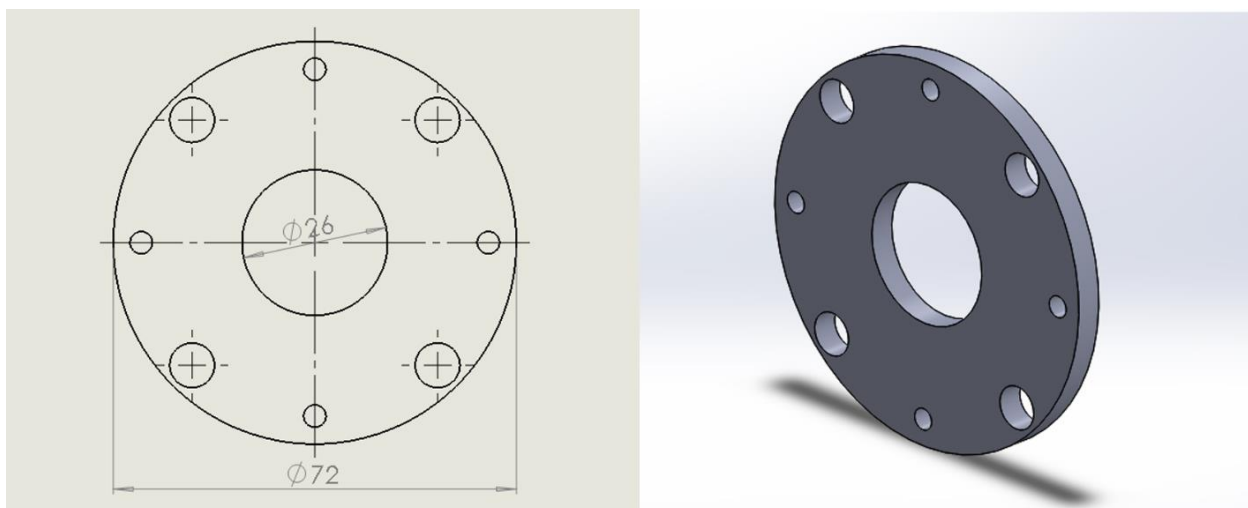


Slika 25. Kućište prednjeg ležaja - dimenzije i CAD model

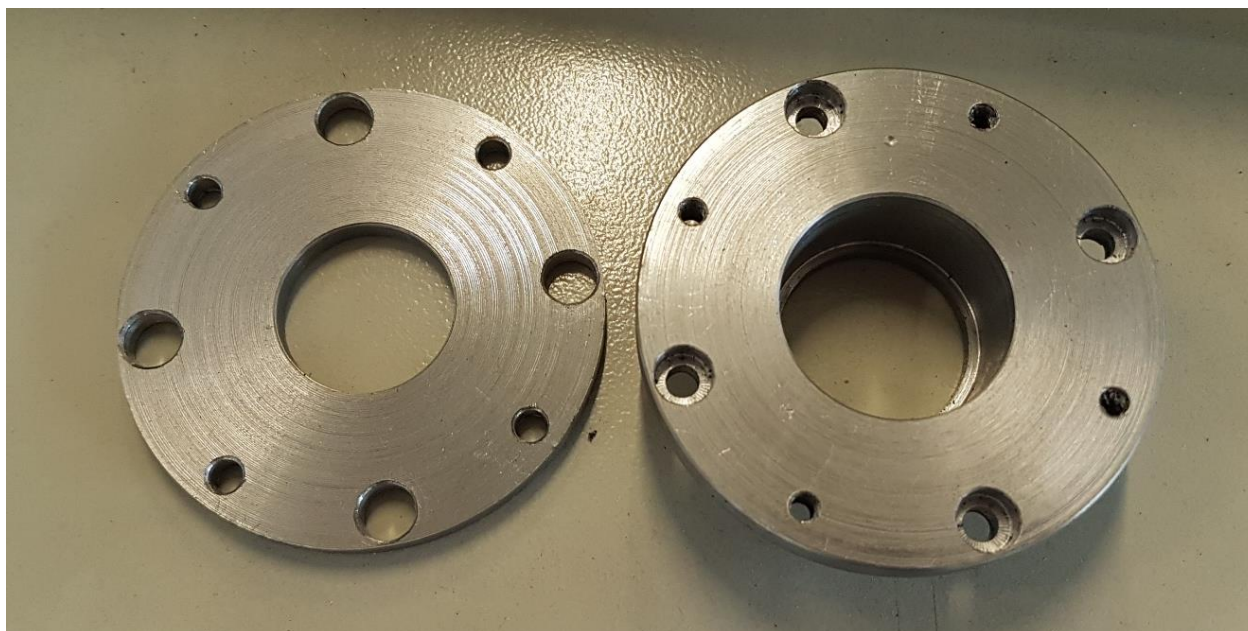


Slika 26. Izrada kućišta prednjeg ležaja

Pokrovna pločica kućišta prednjeg ležaja služi za aksijalno učvršćenje ležaja. Debljina pločice iznosi 3mm, a pomoću četiri vijka M4 povezuje se na kućište ležaja. Oblik i dimenzije pokrovne pločice prikazane su na slici 27. Kroz četiri provrta na pokrovnoj pločici prolaze vijci koji povezuju kućište s prednjom pločom. Na slici 28 prikazane su izrađene pozicije kućišta prednjeg ležaja te pripadajuće pokrovne pločice.



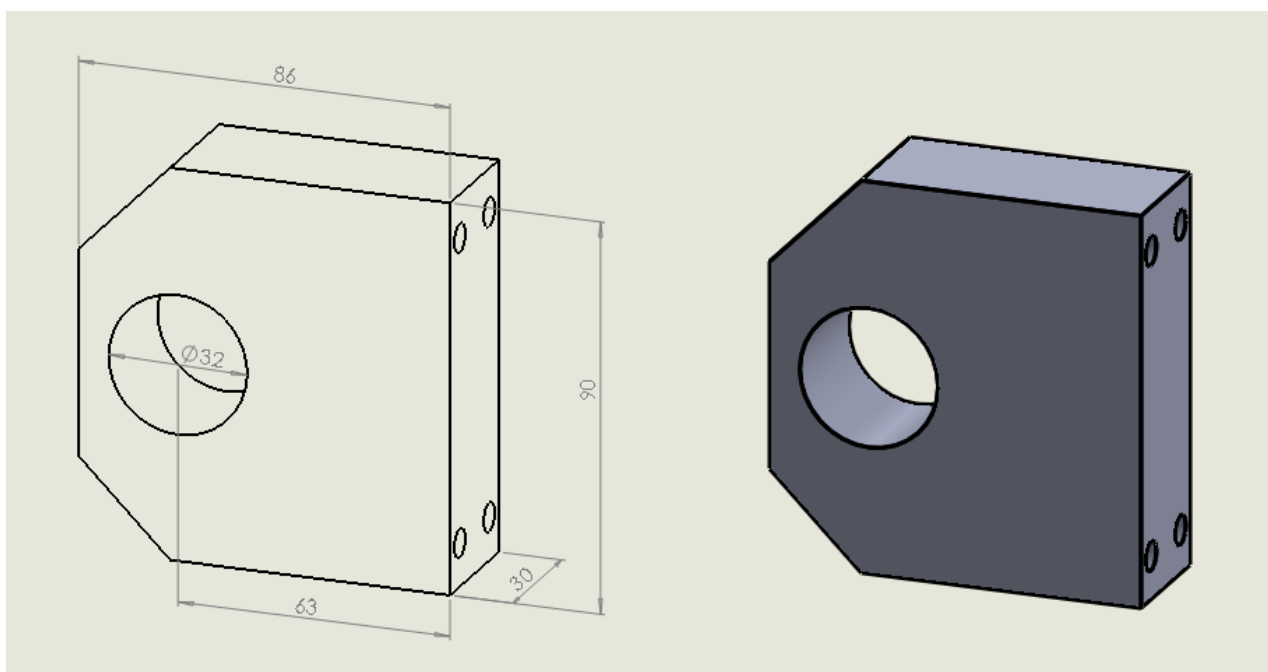
Slika 27. Pokrovna pločica kućišta prednjeg ležaja - vanjske dimenzije i CAD model



Slika 28. Izrađene pozicije pokrovne pločice i kućišta prednjeg ležaja

4.1.6. Kućište stražnjeg ležaja

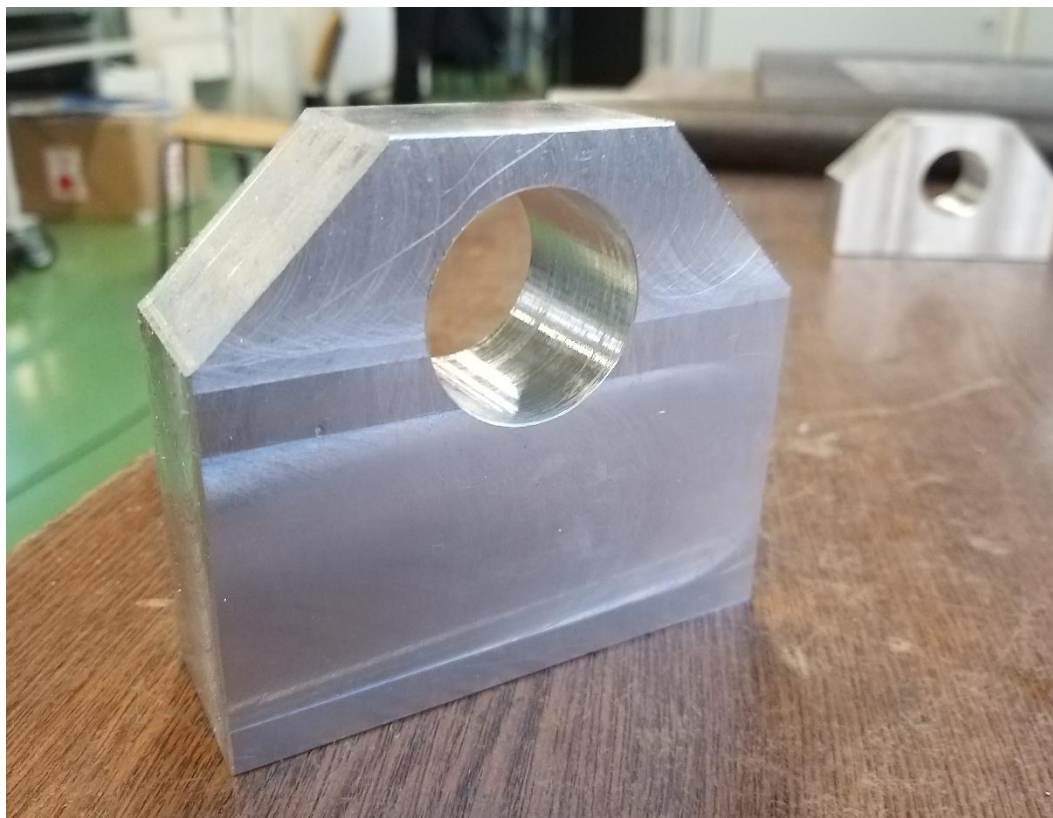
Kućište stražnjeg ležaja (pozicija 8) predviđeno je za prihvatanje donjeg ležaja oznake 6201-2Z (pozicija 14) te ograničava pomak kugličnog navojnog vretena (pozicija 12) u radijalnom smjeru. Izrađeno je od AlSiMg0,5 te se montira na donju ploču vodilice (pozicija 5) pomoću četiri vijka M6. Provrt na kućištu iznosi $\varnothing 32\text{mm}$ i odgovara vanjskom promjeru odabranog ležaja. Važno je prilikom montaže kućišta osigurati podudaranje osi provrta s osi provrta gornjeg ležaja kako prilikom opterećenja ne bi došlo do izvijanja kugličnog navojnog vretena. Oblik i dimenzije kućišta stražnjeg ležaja prikazani su na slici 29. Na slici 30 prikazana je izrada kućišta stražnjeg ležaja, a na slici 31 prikazana je izrađena pozicija.



Slika 29. Kućište stražnjeg ležaja – dimenzije i CAD model



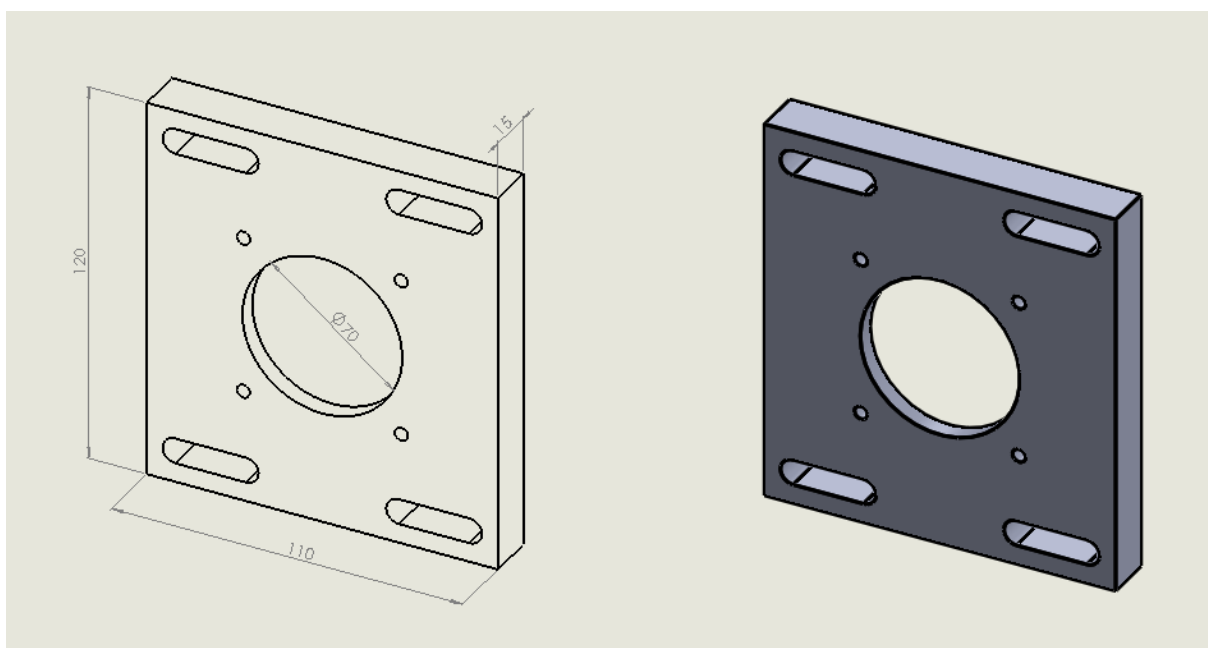
Slika 30. Izrada kućišta stražnjeg ležaja



Slika 31. Izrađena pozicija kućišta stražnjeg ležaja

4.1.7. Pločica motora

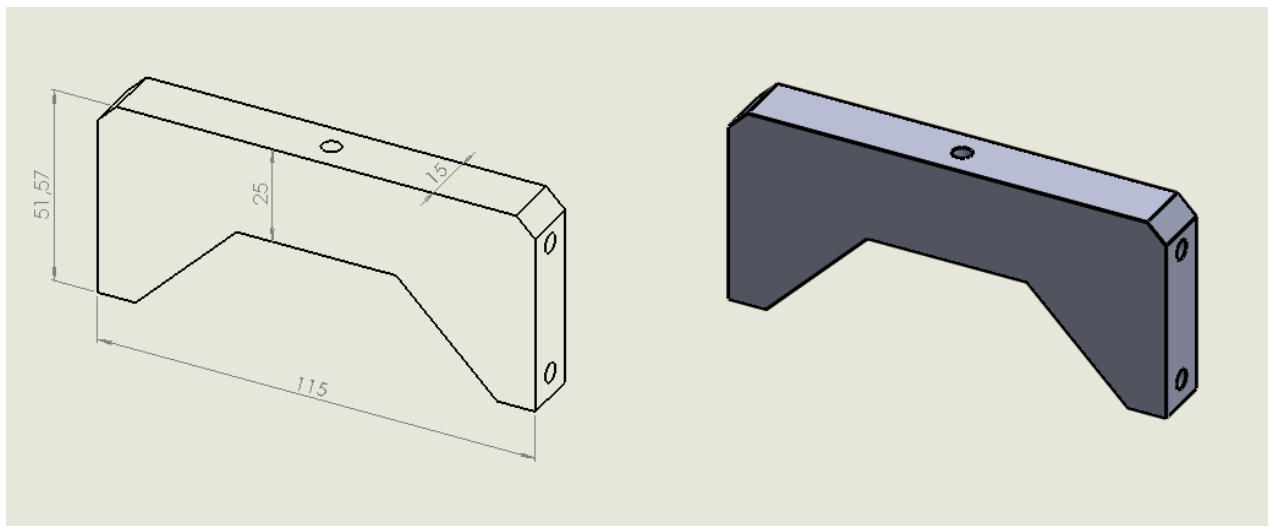
Pločica motora (pozicija 9) služi za prihvat servomotora koji pomoću remenskog prijenosa pogoni kuglično navojno vreteno (pozicija 12), a dvodjelna matica (pozicija 16) pretvara rotacijsko gibanje vretena u translacijsko gibanje klizne platforme (pozicija 17). Kako bi se osigurala dovoljna nategnutost remena izrađeni utori koji omogućavaju uzdužno pomicanje servomotora. Pločica se montira na prednju ploču vodilice (pozicija 2) pomoću četiri vijka M8. Središnji provrt pločice je $\varnothing 70\text{mm}$ što odgovara kućištu predviđenog servomotora. Na slici 32 prikazana je pločica motora s vanjskim dimenzijama.



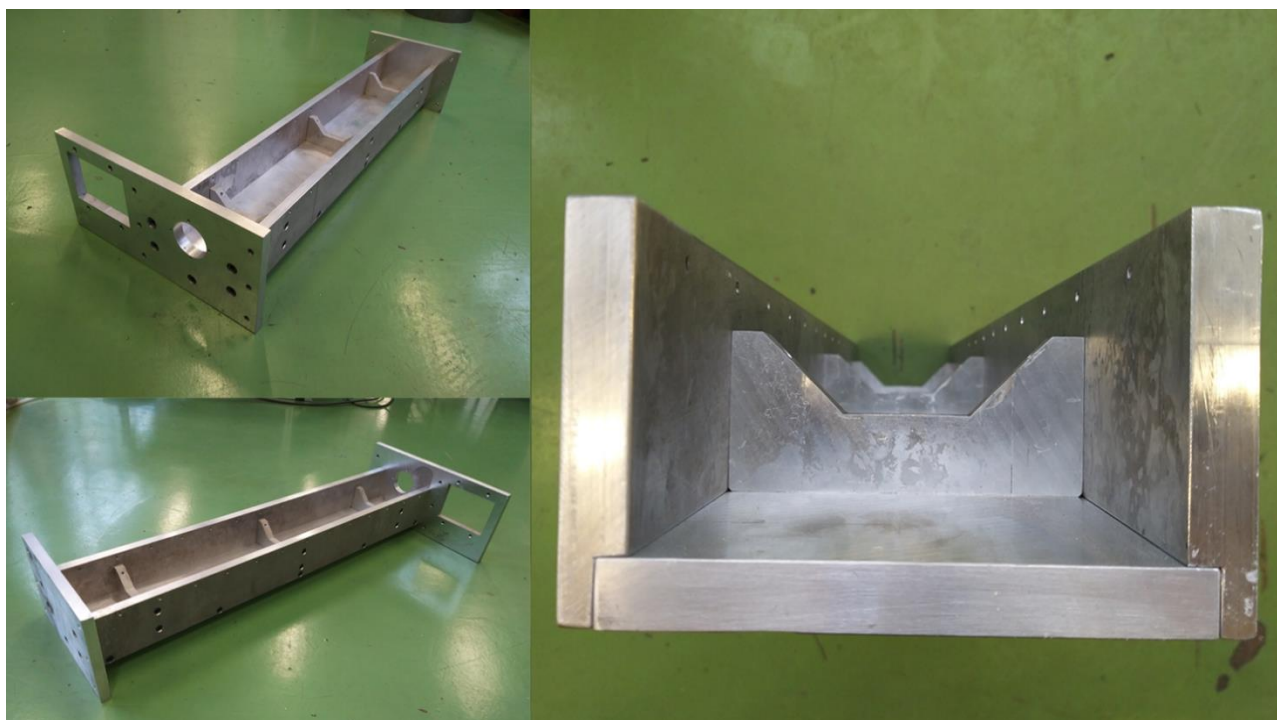
Slika 32. Pločica motora- vanjske dimenzije i CAD model

4.1.8. Spojna ploča

Spojne ploče (pozicija 10, 3 komada) konstruirane su za dodatno ukrućenje okvira vodilice, a svojim oblikom pružaju mogućnost nesmetanog gibanja dvodjelne matice vretena (pozicija 16). Izrađene su od AlSiMg0,5 te su montirane na tri mjesta. Montaža na bočne ploče (pozicije 3 i 4) izvodi se pomoću dva vijka M6 sa svake strane, dok je za montažu na donju ploču vodilice (pozicija 5) potreban jedan vijak M6 smješten na sredini spojne ploče. Debljina ploče iznosi 15mm, a oblik i vanjske mjere prikazane su na slici 33. Izrada tri identične spojne ploče obuhvaćala je profilno glodanje vanjskih stranica te izradu provrta i navoja, a izvodila se u više stezanja. Slika 34 prikazuje spojne ploče koje su montirane na navedene pozicije.



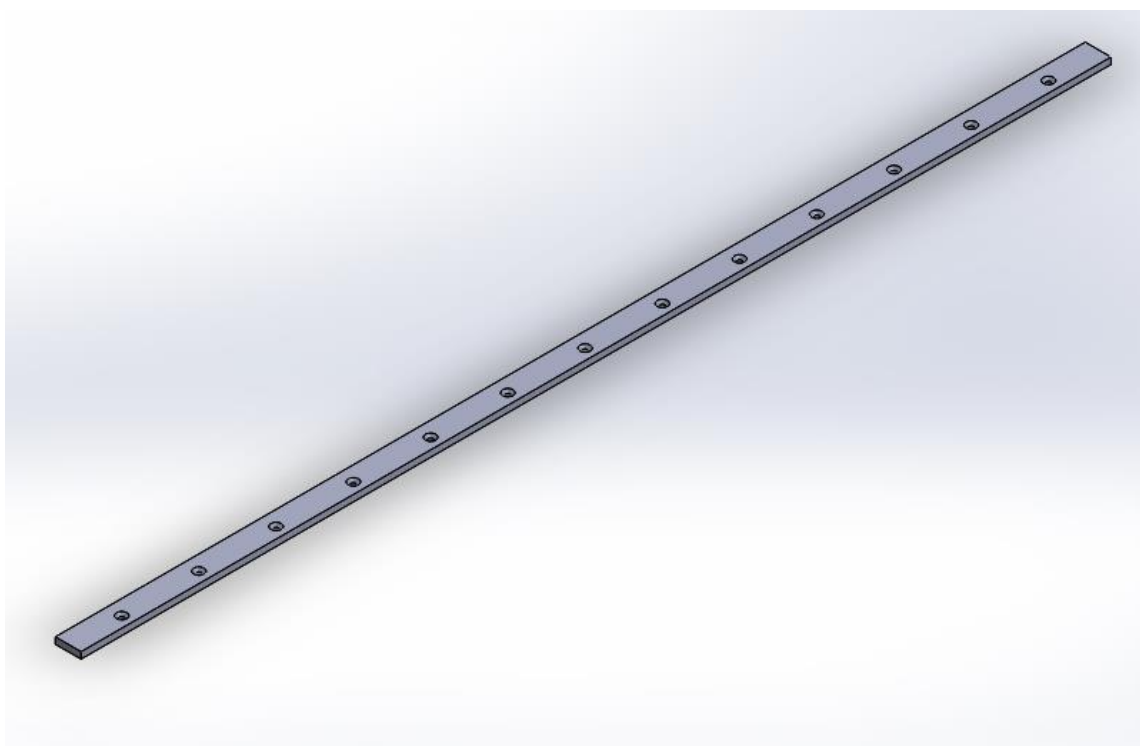
Slika 33. Spojna ploča - vanjske dimenzije i CAD model



Slika 34. Montaža spojnih ploča

4.1.9. Vanjska pločica

Desna bočna ploča vodilice (pozicija 4) služi za vanjsko učvršćenje jedne tračnice (desne, pozicija 13). Fiksiranje se izvodi s vanjske strane pomoću vanjske pločice (pozicija 11) dimenzija 800x20x5mm. Pločica, prikazana na slici 35, sadrži upuštenja za trinaest vijka M4 pomoću kojih se postavlja na desnu bočnu ploču i na taj način osigurava postavljenu desnu tračnicu.



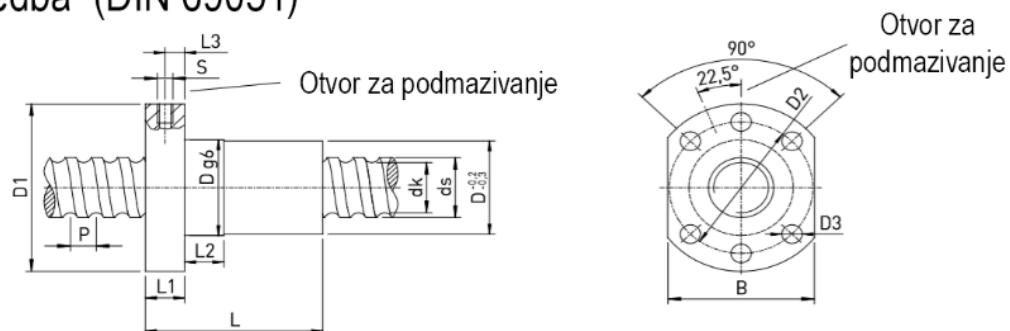
Slika 35. Vanjska pločica CAD model

4.1.10. Kuglično navojno vreteno

Kuglično navojno vreteno (pozicija 12) predstavlja katalošku komponentu sklopa okvira vodilice. Ova pozicija ipak odstupa od kataloške izvedbe te je izrađena prema dimenzijama definiranim nacrtom u prilogu. Ukupna duljina kugličnog navojnog vretena iznosi 811,6 mm, dok je duljina navojnog dijela 715,5mm. Rotacijom vretena dolazi do gibanja matice (pozicija 16), odnosno pomicanja klizne platforme (pozicija 17) u određenom smjeru. KNV i matica predstavljaju sustav za pretvaranje rotacijskog gibanja u translacijsko, u ovom slučaju translacijsko gibanje sklopa klizne platforme. Slika 36 prikazuje kataloške podatke o sustavu kugličnog navojnog vretena i matice. Izrada KNV prikazana je na slici 37, a slika 38 prikazuje

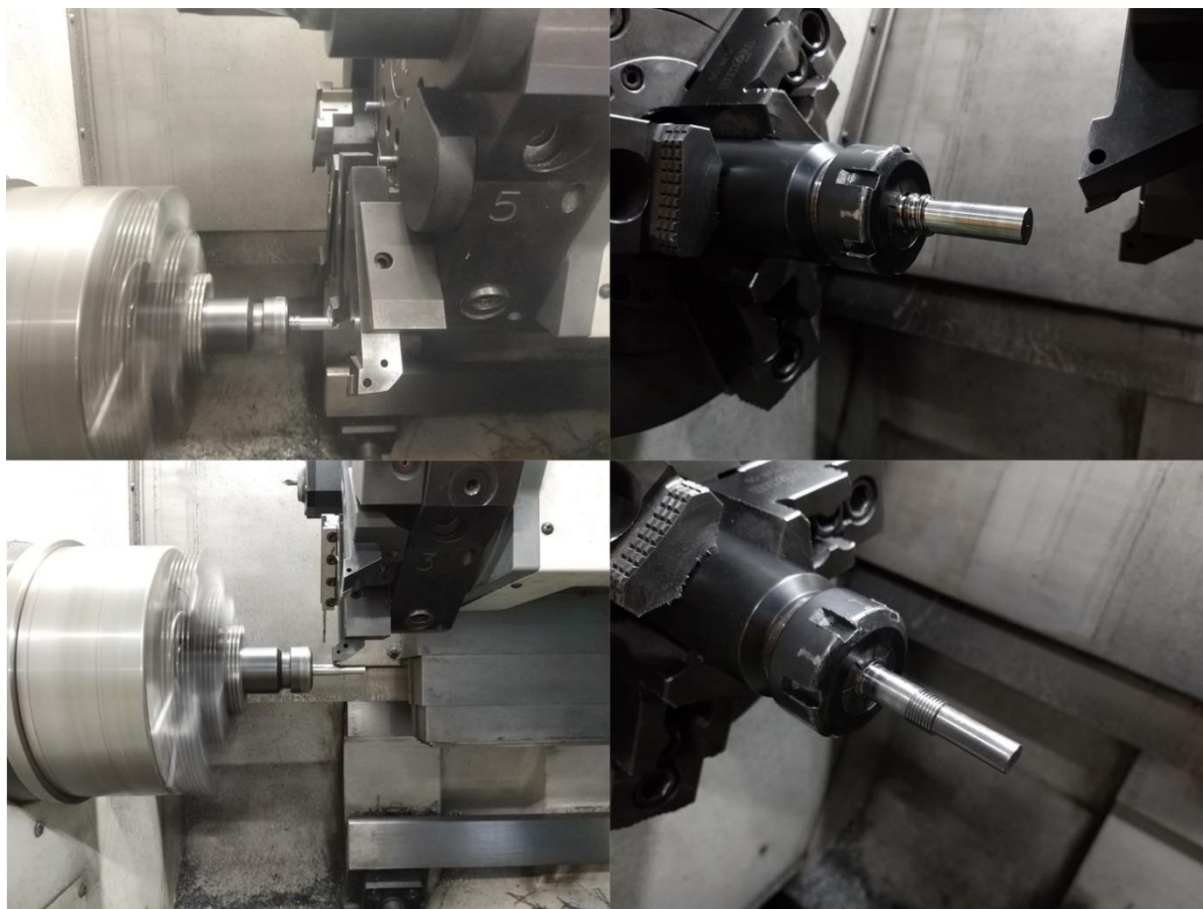
tri izrađena KNV. Matica vretena čini poziciju koja tvori sklop klizne platforme koji će u nastavku biti prikazan.

FSI izvedba (DIN 69051)



| Oznaka | Veličina | ds ±0.1 | P | Dg6 | D1 | D2 | D3 | Broj rupa | L | L1 | L2 | L3 | S | B | dk | Dinamička nosivost matice C _{dm} [N] | Statička nosivost matice C ₀ [N] | Max. akselna zračnost [mm] | Težina matice [kg] | Težina vretena [kg/m] |
|-----------------|----------|------------|---|-----|----|----|-----|--------------|----|----|----|----|----|----|------|--|--|-------------------------------------|--------------------------|-----------------------------|
| R16-05T3-FSIDIN | 16x5 | 15.5 | 5 | 28 | 48 | 38 | 5.5 | 1 | 40 | 10 | 10 | 5 | M6 | 40 | 12.9 | 7320 | 12470 | 0.04 | 0.17 | 1.26 |

Slika 36. Kataloški podatci sustava KNV i matice FSI izvedbe [15]



Slika 37. Izrada kugličnog navojnog vretena



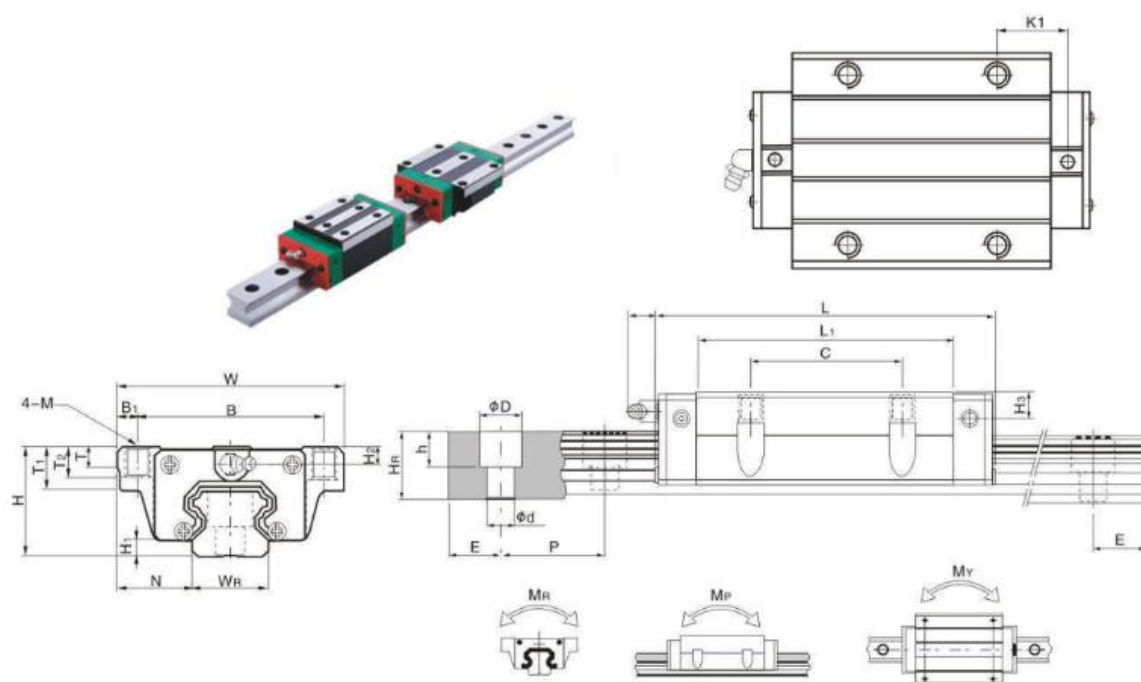
Slika 38. Izrađene pozicije kugličnog navojnog vretena

4.1.11. Tračnice

Poziciju 13 sklopa okvira vodilice čine dvije tračnice vagonских klizača koje su prikazane na slici 39. Tračnice nose oznaku HGH15CA i predstavljaju standardiziranu katalošku komponentu. Prilikom montaže postavljaju se na bočne ploče (pozicije 3 i 4) okvira vodilice pomoću četrnaest vijaka M4 u razmaku od 60mm. Desnu tračnicu potrebno je učvrstiti na već spomenuti način pomoću vanjske pločice (pozicija 11) na desnoj bočnoj ploči. Duljina tračnice iznosi 800mm i na nju se postavljaju dva vagonска klizača (pozicija 18) učvršćenih na kliznu platformu (pozicija 17). Na slici 40 prikazane su kataloške vrijednosti tračnice s pripadajućim vagonским klizačem. Ovakav sustav omogućava izvrsnu preciznost, veliku krutost, male vibracije, nisku razinu buke, nisko trenje, jednostavno podmazivanje te lako postavljanje. [16]



Slika 39. Tračnica i vagoni klizači [16]

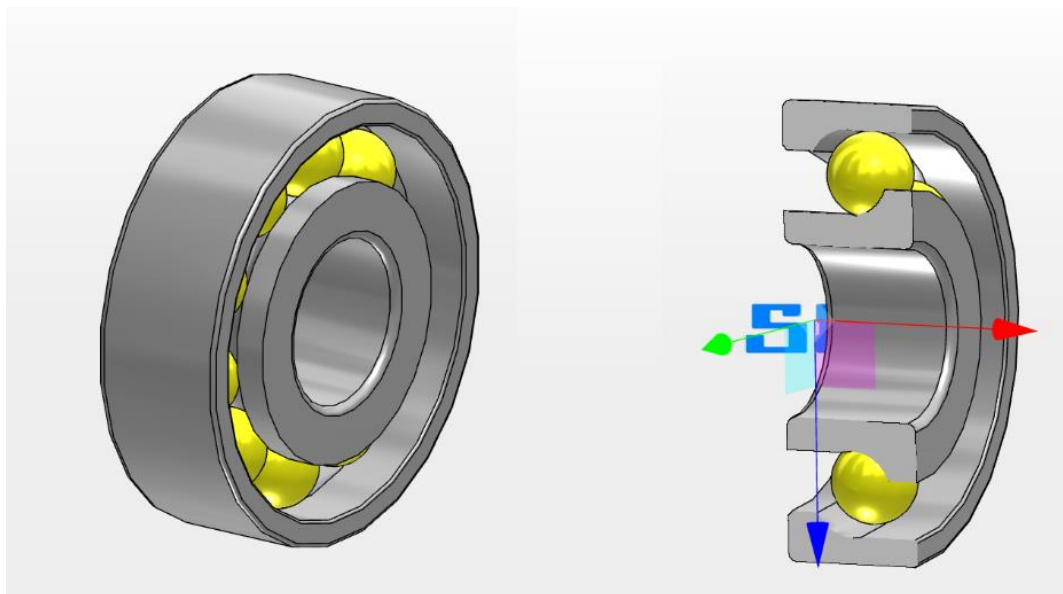


| Oznaka modela | Dimenzije sklopa (mm) | | | Dimenzije bloka (mm) | | | | | | | | | | | | | Dimenzije vodilice (mm) | | | | | | | | VIJCI (mm) | Nazivno dinamičko opterećenje C(KN) | Nazivno statičko opterećenje Co(KN) | Nazivni statički moment | | | Težina | |
|---------------|-----------------------|----------------|-----|----------------------|----|----------------|----|----------------|------|----------------|-----|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------|-----|-----|-----|----|----|----------------|----------------|---------------|--|--|-------------------------|-------------|--------------|--------|--|
| | H | H ₁ | N | W | B | B ₁ | C | L ₁ | L | K ₁ | G | Mx ₁ | T ₂ | H ₂ | H ₃ | W _R | H _R | D | h | d | P | E | M _R | M _P | | | | M _V | block kg | rail kg/m | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| HGH 15CA | 28 | 4.3 | 9.5 | 34 | 26 | 4 | 26 | 39.4 | 61.4 | 10 | 5.3 | M4x5 | 6 | 7.95 | 7.7 | 15 | 15 | 7.5 | 5.3 | 4.5 | 60 | 20 | M4x16 | 11.38 | 25.31 | 0.17 | 0.15 | 0.15 | 0.18 | 1.45 | | |

Slika 40. Kataloške vrijednosti tračnice HGH 15CA i vagonskih klizača [16]

4.1.12. Prednji ležaj

Prednje ležajno mjesto služi za uležištenje kugličnog navojnog vretena (pozicija 12) u prednjem osloncu. U tu svrhu, prema SKF-ovom katalogu, izabran je prednji ležaj s kosim dodirom oznake 7201 BECBP (pozicija 15) koji je prikazan na slici 41. Potrebna su takva dva identična ležaja čije su karakteristike prikazane na slici 42, a oni se postavljaju u kućište prednjeg ležaja (pozicija 6) u „X“ ili „O“ rasporedu.

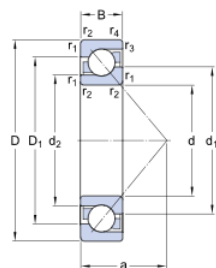


Slika 41. CAD model ležaja 7201 BECBP [17]

► 7201 BECBP

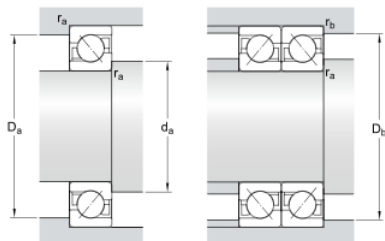
Popular item

Dimensions



| | | |
|------------------|----------|----|
| d | 12 | mm |
| D | 32 | mm |
| B | 10 | mm |
| d ₁ | ≈ 20.2 | mm |
| d ₂ | ≈ 16.57 | mm |
| D ₁ | ≈ 25 | mm |
| a | 14 | mm |
| r _{1,2} | min. 0.6 | mm |
| r _{3,4} | min. 0.3 | mm |

Abutment dimensions

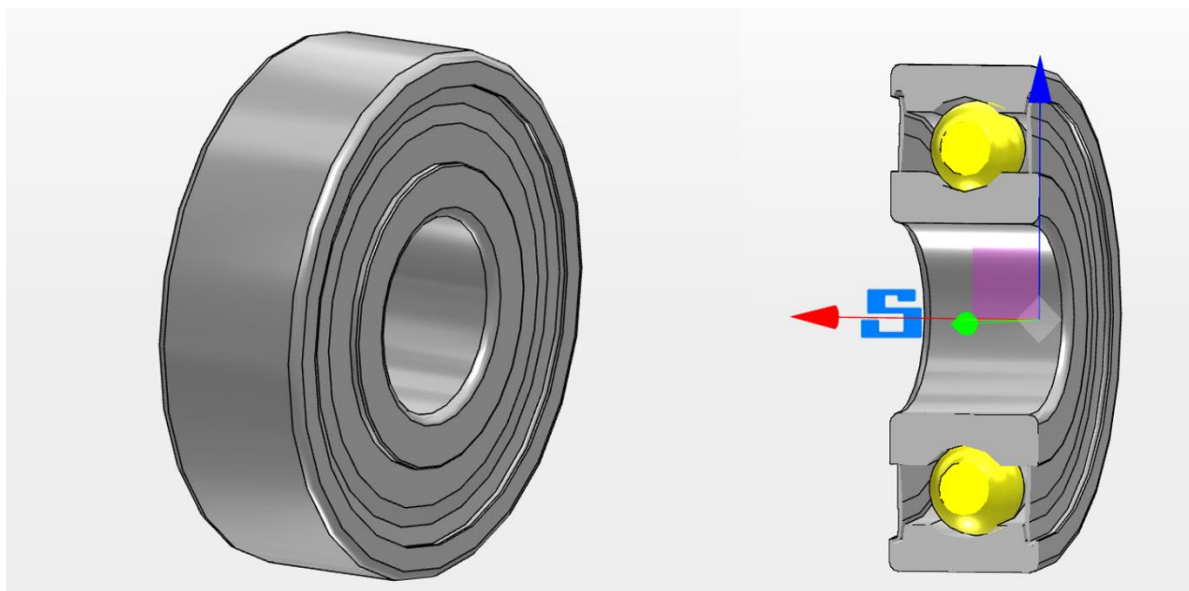


| | | |
|----------------|-----------|----|
| d _a | min. 16.2 | mm |
| D _a | max. 27.8 | mm |
| D _b | max. 30 | mm |
| r _a | max. 0.6 | mm |
| r _b | max. 0.3 | mm |

Slika 42. Karakteristike ležaja 7201 BECBP [17]

4.1.13. Stražnji ležaj

U kućište stražnjeg ležaja (pozicija 8) postavljen je stražnji ležaj (pozicija 14) koji je slobodan i koji može preuzeti opterećenje samo u radijalnom smjeru. Prema SKF-ovom katalogu odabran je kavezom zaštićeni jednoredni kuglični ležaj oznake 6201-Z2 koji je prikazan na slici 43. Karakteristike stražnjeg ležaja prikazane su na slici 44.

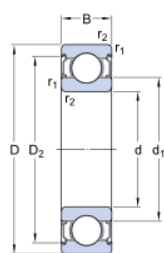


Slika 43. CAD model ležaja 6201-Z2 [18]

► W 6201-Z2

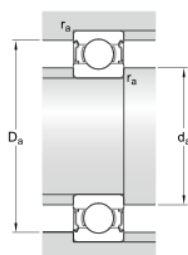
Popular item

Dimensions



| | | |
|------------------|----------|----|
| d | 12 | mm |
| D | 32 | mm |
| B | 10 | mm |
| d ₁ | ≈ 18.5 | mm |
| D ₂ | ≈ 27.95 | mm |
| r _{1,2} | min. 0.6 | mm |

Abutment dimensions



| | | |
|----------------|-----------|----|
| d _a | min. 16 | mm |
| d _a | max. 18 | mm |
| D _a | max. 28.5 | mm |
| r _a | max. 0.6 | mm |

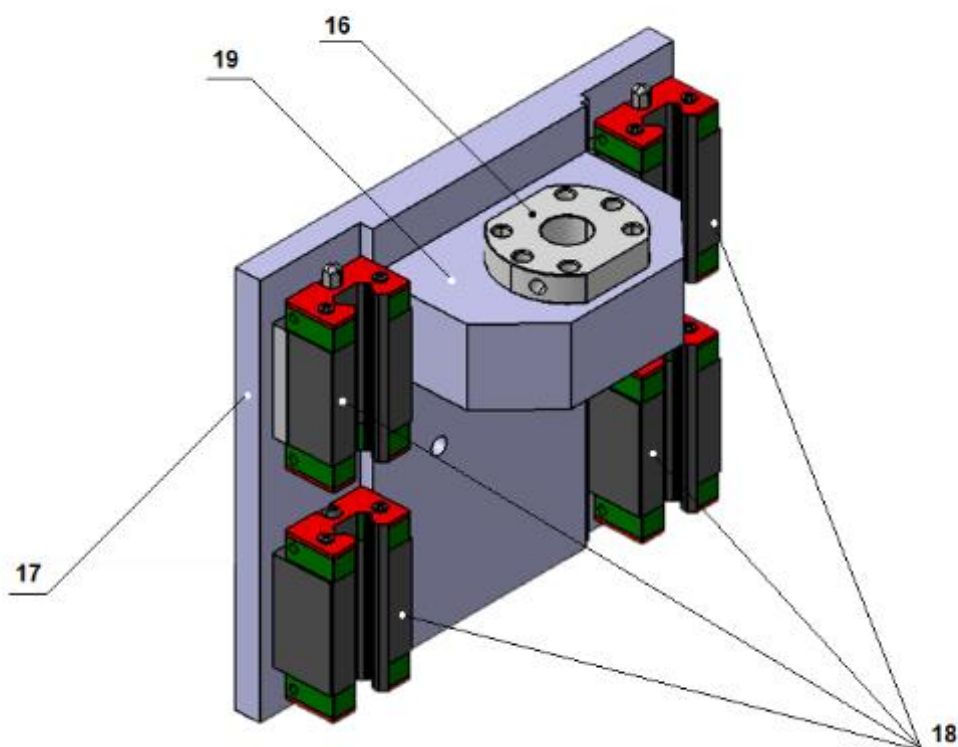
Slika 44. Karakteristike ležaja 6201-Z2 [18]

4.2. Sklop klizne platforme

Drugi dio konstrukcije laboratorijskog postava čini sklop klizne platforme koji se sastoji od četiri pozicije. Pozicije su navedene u tablici 3, a njihov smještaj u sklopu prikazan je slikom 45. Ovakva izvedba sklopa klizne platforme omogućava nesmetani hod po okviru vodilice. Prethodno su opisane standardne pozicije matice i vagonskih klizača te su dani njihovi kataloški podaci. U nastavku će biti opisane dvije nestandardne pozicije ovog sklopa. Povezivanje sklopa klizne platforme sa sklopom okvira vodilice izvedeno je pomoću vagonskih klizača koji klize po tračnicama te maticom koja je sastavni dio kugličnog navojnog vretena. Takvim povezivanjem u kompaktnu cjelinu dobiva se gotov laboratorijski postav.

Tablica 3. Popis pozicija sklopa klizne platforme

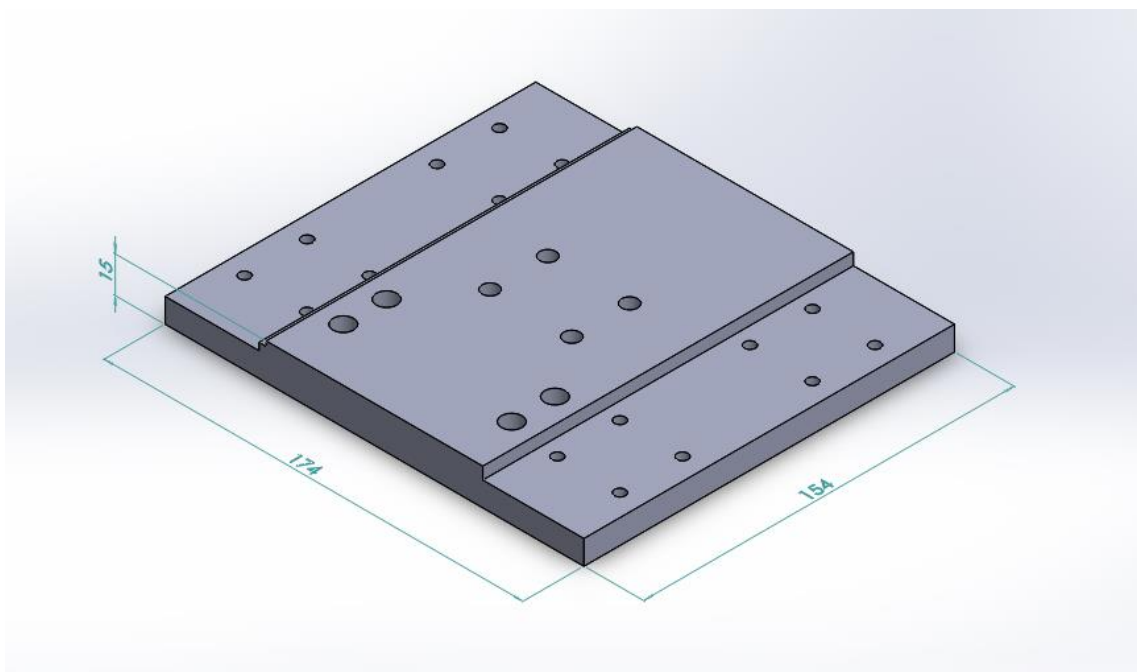
| BROJ POZICIJE | NAZIV POZICIJE | KOLIČINA |
|---------------|------------------|----------|
| 16 | Matica vretena | 1 |
| 17 | Klizna platforma | 1 |
| 18 | Vagonski klizač | 4 |
| 19 | Kućište matice | 1 |



Slika 45. Prikaz smještaja komponenti u sklopu klizne platforme

4.2.1. Klizna platforma

Klizna platforma (pozicija 17) izrađena je od AlSiMg0,5 te na slici 46 prikazan je njezin oblik i vanjske dimenzije. S donje strane klizne platforme smješteno je kućište matice (pozicija 19) koje je na platformu pričvršćen pomoću četiri vijka M8. Klizna platforma služi i za smještaj dva para vagonskih klizača (pozicija 18). Njihov bočni smještaj se razlikuje, jedan par vagonskih klizača (za desnu tračnicu) slobodno je postavljen, dok je drugi par bočno fiksiran i to je prikazano na slici 47. Klizna platforma pruža mogućnost da se na njenu gornju stranu postavi neki alat ili uređaj koji bi mogao pomoću okvira vodilice izvoditi kontrolirano pravocrtno gibanje.



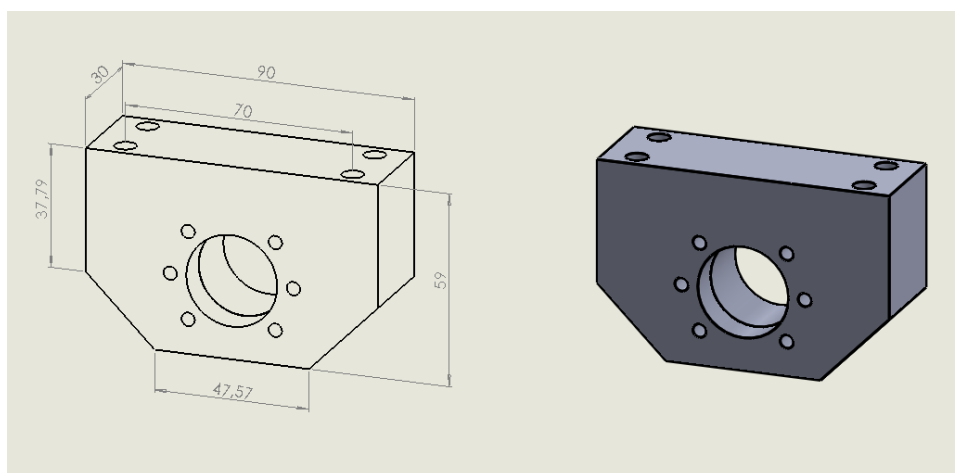
Slika 46. CAD model klizne platforme



Slika 47. Prikaz smještaja fiksiranog i slobodnog vagonskog klizača

4.2.2. Kućište matice

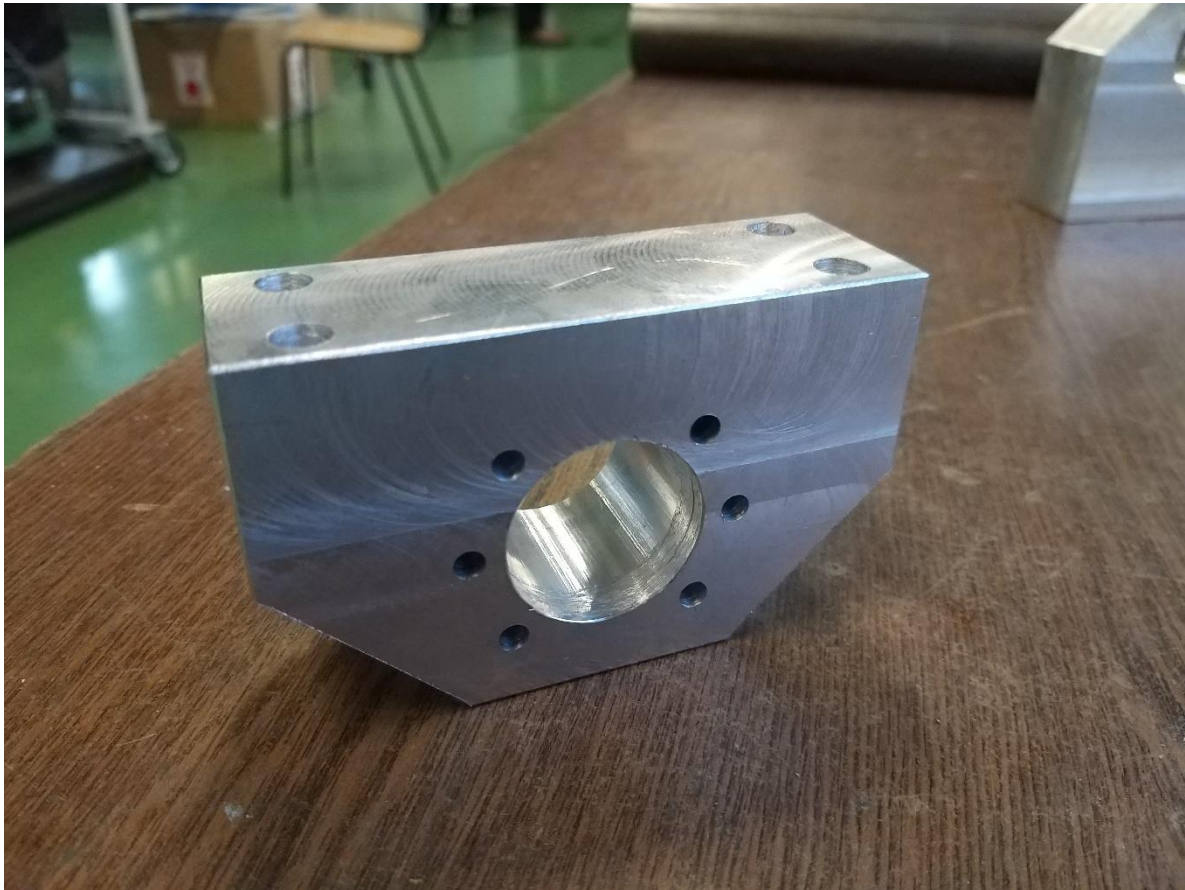
Kućište matice (pozicija 19) izrađeno je od AlSiMg0,5, a oblik i vanjske dimenzije pozicije prikazane su na slici 48. Postavlja se na kliznu platformu (pozicija 17) pomoću četiri vijka M8. U kućište matice uprešava se matica kugličnog navojnog vretena (pozicija 16) koja se dodatno učvršćuje pomoću šest vijaka M6. Središnji provrt iznosi $\varnothing 28\text{mm}$. Skošnja na donjoj strani kućišta matice potrebna su kako sklop klizne platforme ne bi zapinjao za spojne ploče (pozicija 10) prilikom izvođenja pravocrnog gibanja. Pozicija je izrađena na CNC glodalici, a dio izrade prikazan je na slici 49. Slika 50 prikazuje izrađenu poziciju kućišta matice.



Slika 48. Kućište matice – vanjske dimenzije i CAD model



Slika 49. Izrada kućišta matice



Slika 50. Izrađena pozicija kućišta matice

Na prethodno opisane i prikazane načine izrađene su sve sastavne nestandardne pozicije od sklopa okvira vodilice i sklopa klizne platforme. Izrada je vršena na alatnim strojevima, a najviše na CNC vertikalnoj glodalici instaliranoj u Laboratoriju za alatne strojeve. Potrebna tehnička dokumentacija dana je u prilogu.

5. ZAKLJUČAK

U ovom završnom radu prikazana su najčešća rješenja posmičnih prigona alatnih strojeva. Kroz povijest njihov razvoj tekao je postepeno, a zahtijevao je njihovo kontinuirano poboljšanje. Ta su poboljšanja u vidu postizanja većih brzina, bolje preciznosti, tišeg rada te produljenog vijeka trajanja. Na klasičnim alatnim strojevima najčešće se pronalaze izvedbe s trapeznim navojnim vretenom i dvodjelnom maticom. Za rješenje posmičnih prigona suvremenih numerički upravljanih alatnih strojeva obično se koristi kuglično navojno vreteno s dvodjelnom maticom ili linearni motor. S obzirom na to da posmični prigon predstavlja važan modul alatnih strojeva osmišljen je posmični prigon za laboratorijski postav. Njime će se, studentima Fakulteta strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu, omogućiti bolja edukacija i mogućnost praktične nastave te izvođenje laboratorijskih ispitivanja. U tu svrhu izrađena su tri identična laboratorijska postava čija je konstrukcija detaljno opisana u ovom radu. Oni predstavljaju tri posmične osi koje je moguće zasebno programirati, ali isto tako moguće ih je povezati. Prilikom konstruiranja korišteni su programski paketi, CATIA PR V5R21 za izradu modela pozicija, te SOLIDWORKS 2017 za izradu potrebne tehničke dokumentacije. Laboratorijski postav posmičnog prigona je izvedba s kugličnim navojnim vretenom i dvodjelnom maticom, a zbog svoje fleksibilnosti pruža mogućnost modularne gradnje. Brza i jednostavna presloživost modula, zasigurno su karakteristike koje se očekuju od suvremenih alatnih strojeva i sustava.

LITERATURA

- [1] https://www.fsb.unizg.hr/kas/ODIOO/ODIOO%202017/1_predavanje_ODIOO.pdf (pristupio 28.12.2018.)
- [2] Cebalo R., Ciglar D., Stoić A., OBRADNI SUSTAVI – Fleksibilni obradni sustavi, Zagreb, 2005.
- [3] https://www.fsb.unizg.hr/kas/ODIOO/ODIOO%202017/2_predavanje_ODIOO.pdf (pristupio 28.12.2018.)
- [4] I. Kranjčec: Alatni strojevi za obradu odvajanjem čestica - osvrt na tehnologiju gradnje, Završni rad, Sveučilište sjever, 2017
- [5] Cebalo R., OBRADNI STROJEVI I SUSTAVI, Zagreb, travanj 1998.
- [6] Benger Bruno: Završni rad, FSB, 2009.
- [7] www.tuli.si (pristupio 29.12.2018.)
- [8] www.un-tra.hr (pristupio 29.12.2018.)
- [9] <http://www.nsk.com.br/upload/file/e3242.pdf> (pristupio 04.02.2019.)
- [10] <http://www.nsk.com/company/news/2012/press121105b.html> (pristupio 04.02.2019.)
- [11] Mance Mario: Mogućnosti poboljšanja karakteristika sklopova obradnih strojeva, Završni rad, FSB, 2018.
- [12] <https://mehatronika.gomodesign.rs/linearni-motori-acurrax/> (pristupio 04.01.2019.)
- [13] <https://w3.siemens.com/mcms/mc-solutions/en/motors/motion-control-motors/simotics-torque-motor/pages/torque-motor.aspx> (pristupio 04.01.2019.)
- [14] <https://exlar.com/> (pristupio 10.01.2019.)
- [15] https://www.hiwin.cz/en/products/ball-screws/rolled-ball-screws/53_standard-flanged-nut-fsc-fsi-acc-din-69051 (pristupio 27.01.2019.)
- [16] <http://hr.globallscrew.com/linear-guide/cnc-guide-rail.html> (pristupio 27.01.2019.)

[17] <https://www.skf.com/group/products/bearings-units-housings/ball-bearings/angular-contact-ball-bearings/single-row-angular-contact-ball-bearings/single-row/index.html?designation=7201%20BECBP&nfp=NFP-7201%20BECBP>

(pristupio 06.02.2019.)

[18] <https://www.skf.com/group/products/bearings-units-housings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/index.html?designation=W%206201-2Z>

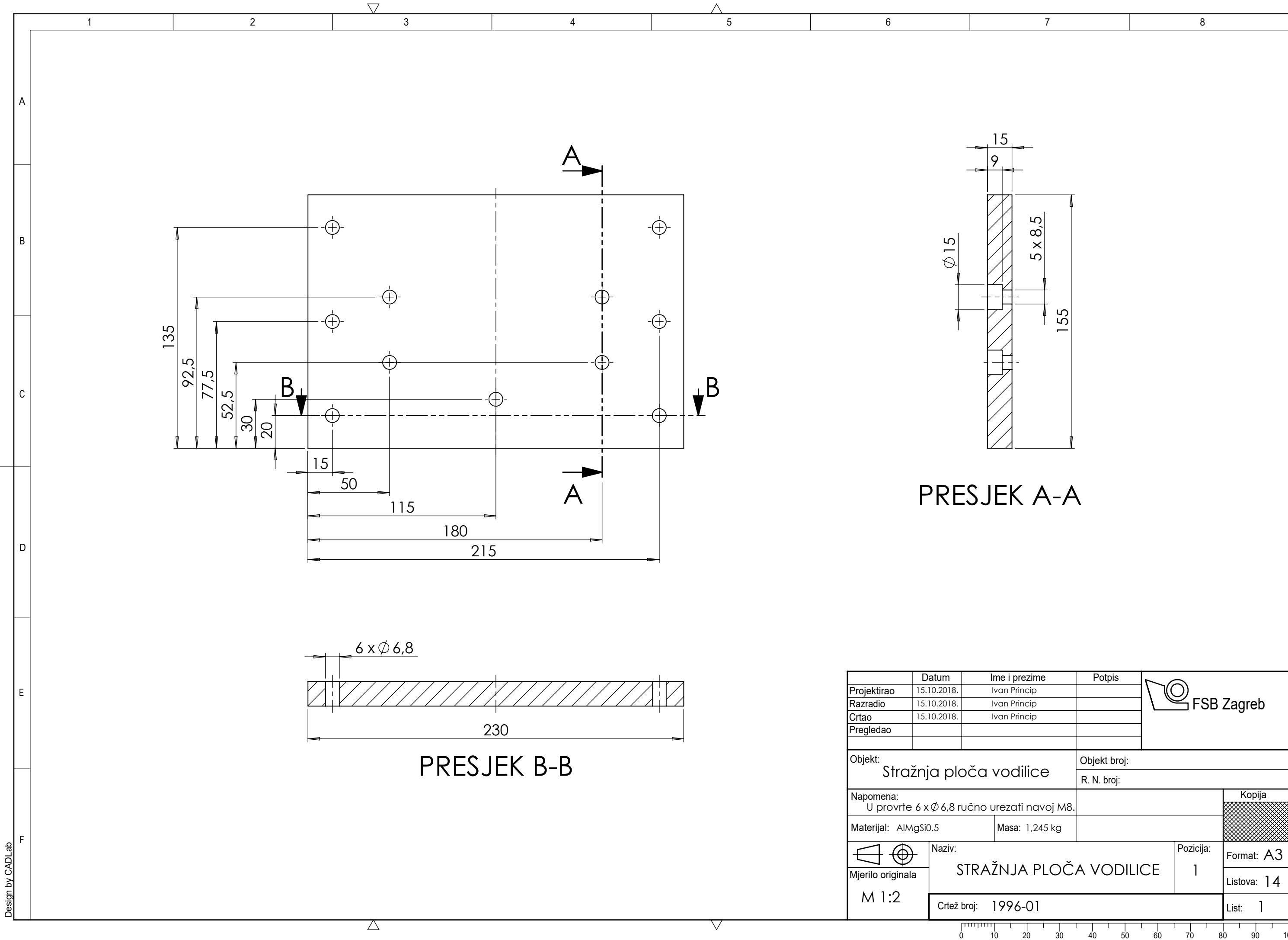
(pristupio 06.02.2019.)

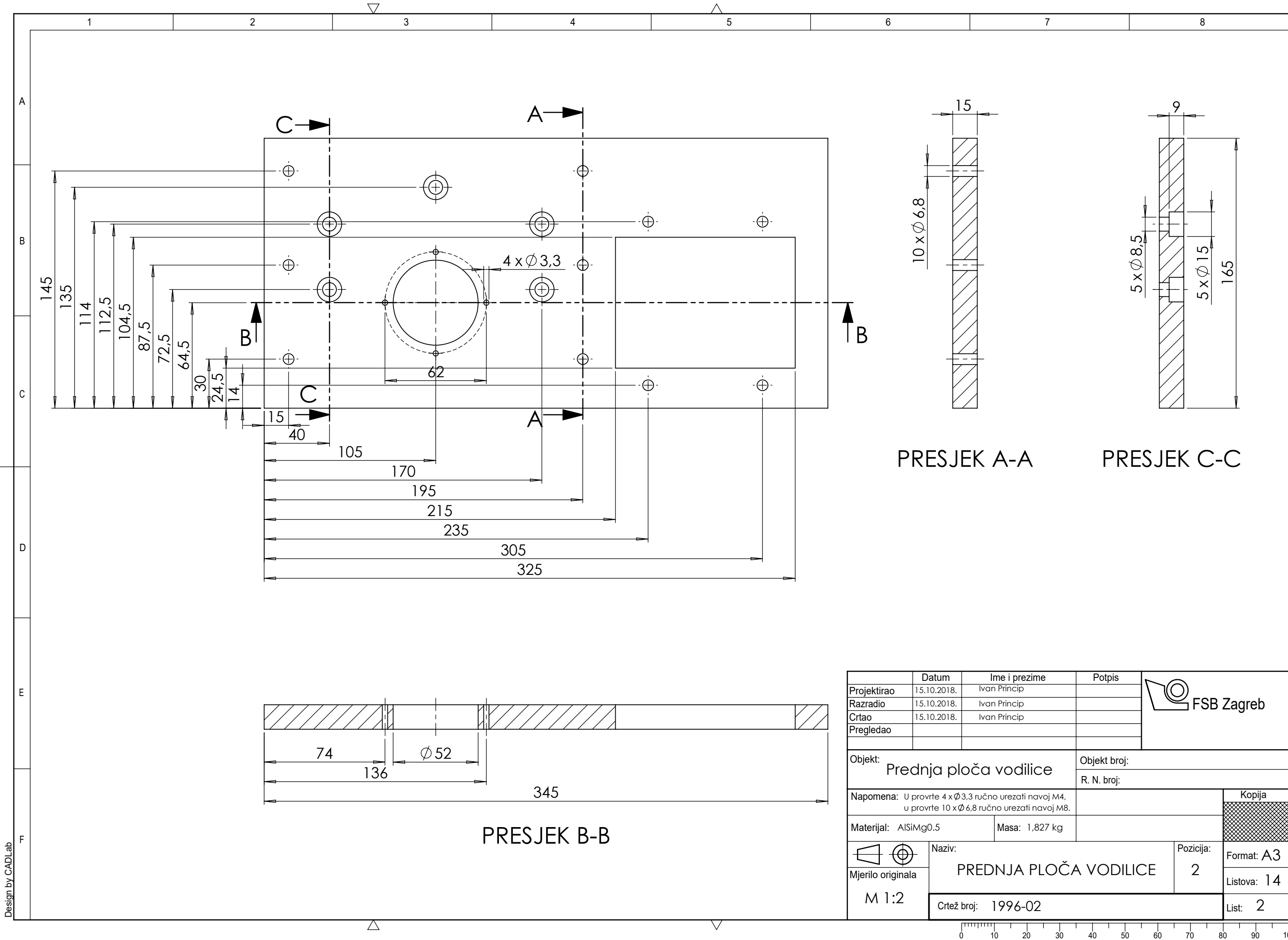
PRILOZI

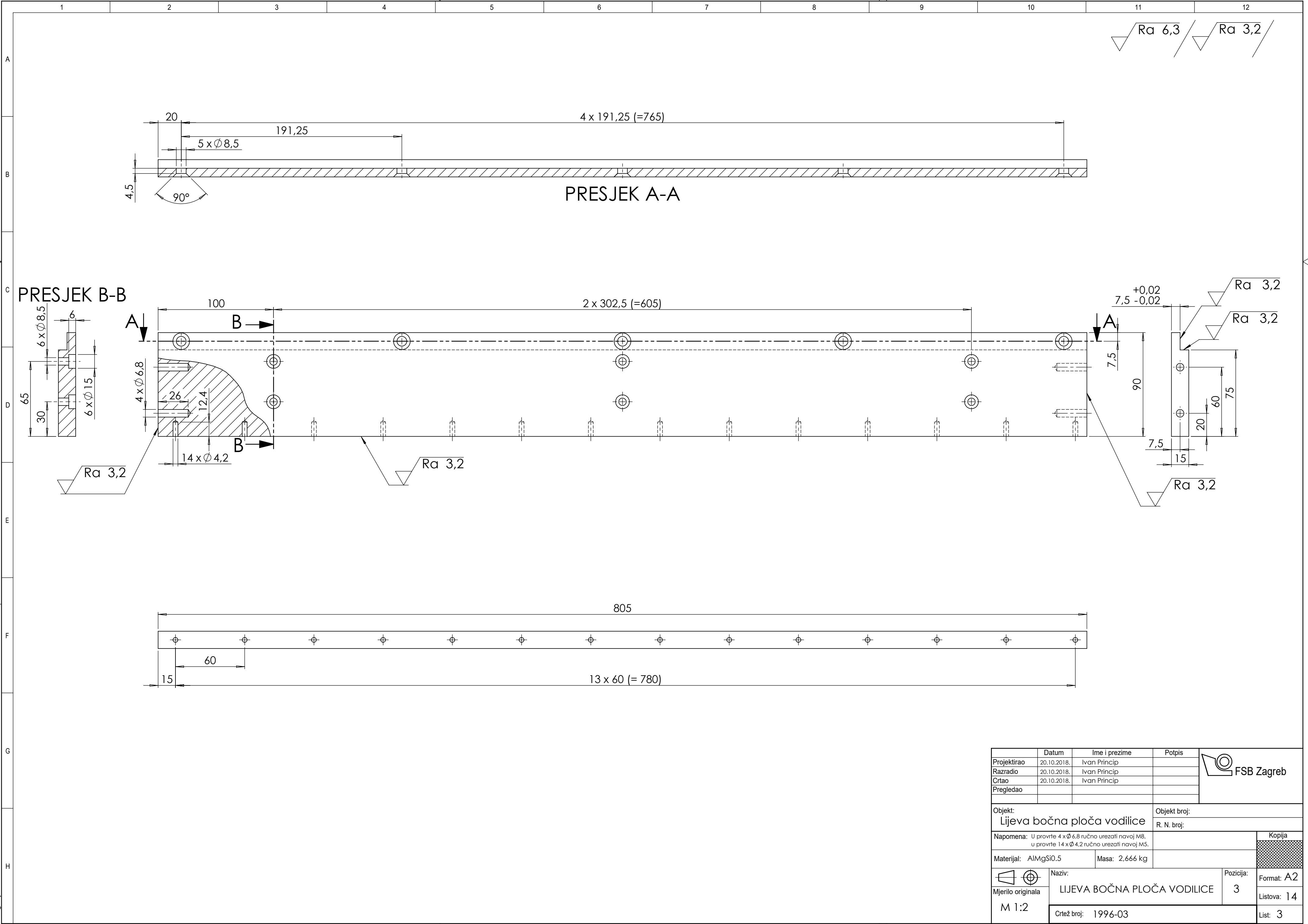
- I. CD-R disc
- II. Tehnička dokumentacija


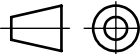
PRILOG II.

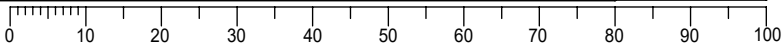
Tehnička dokumentacija

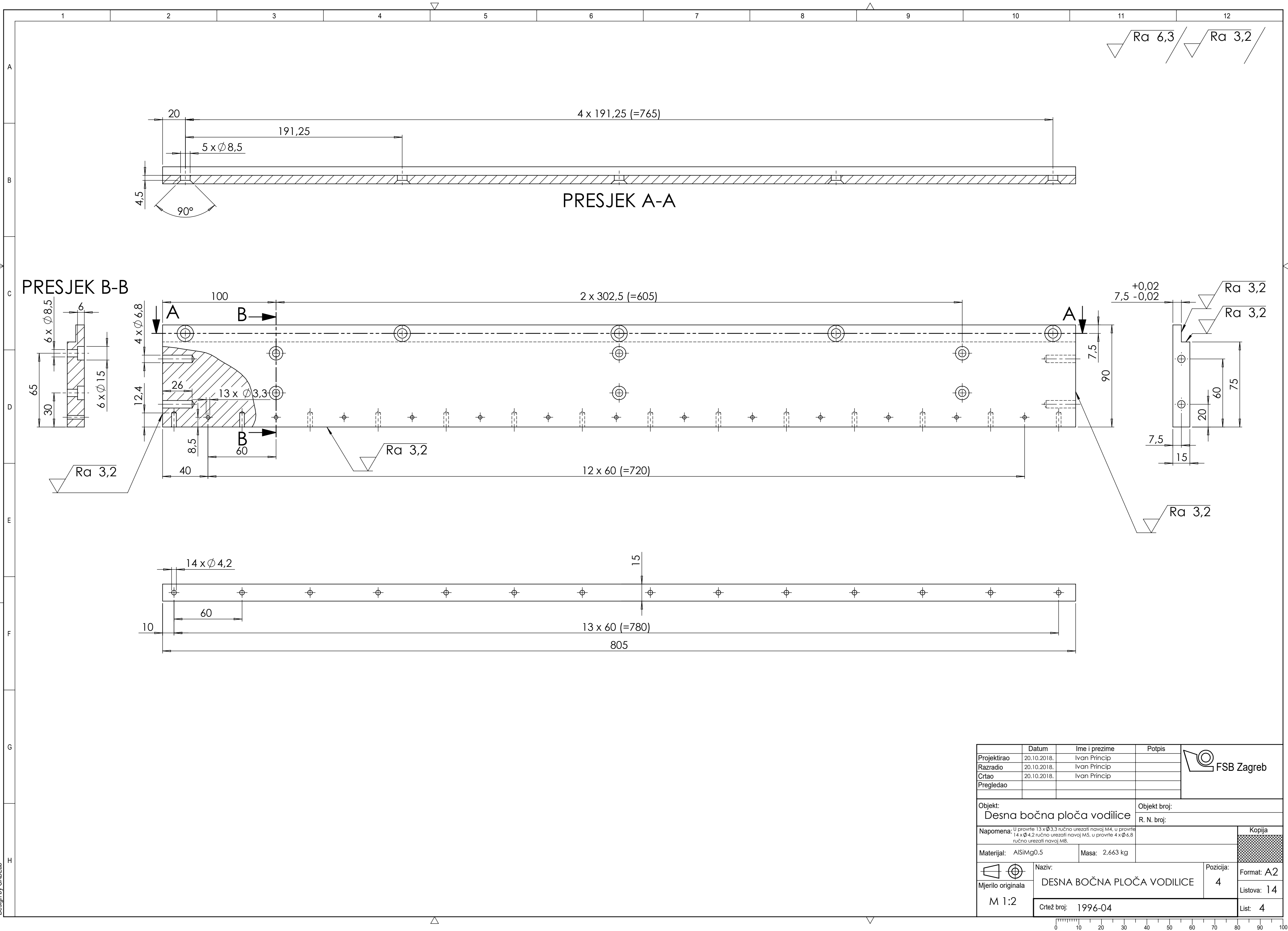


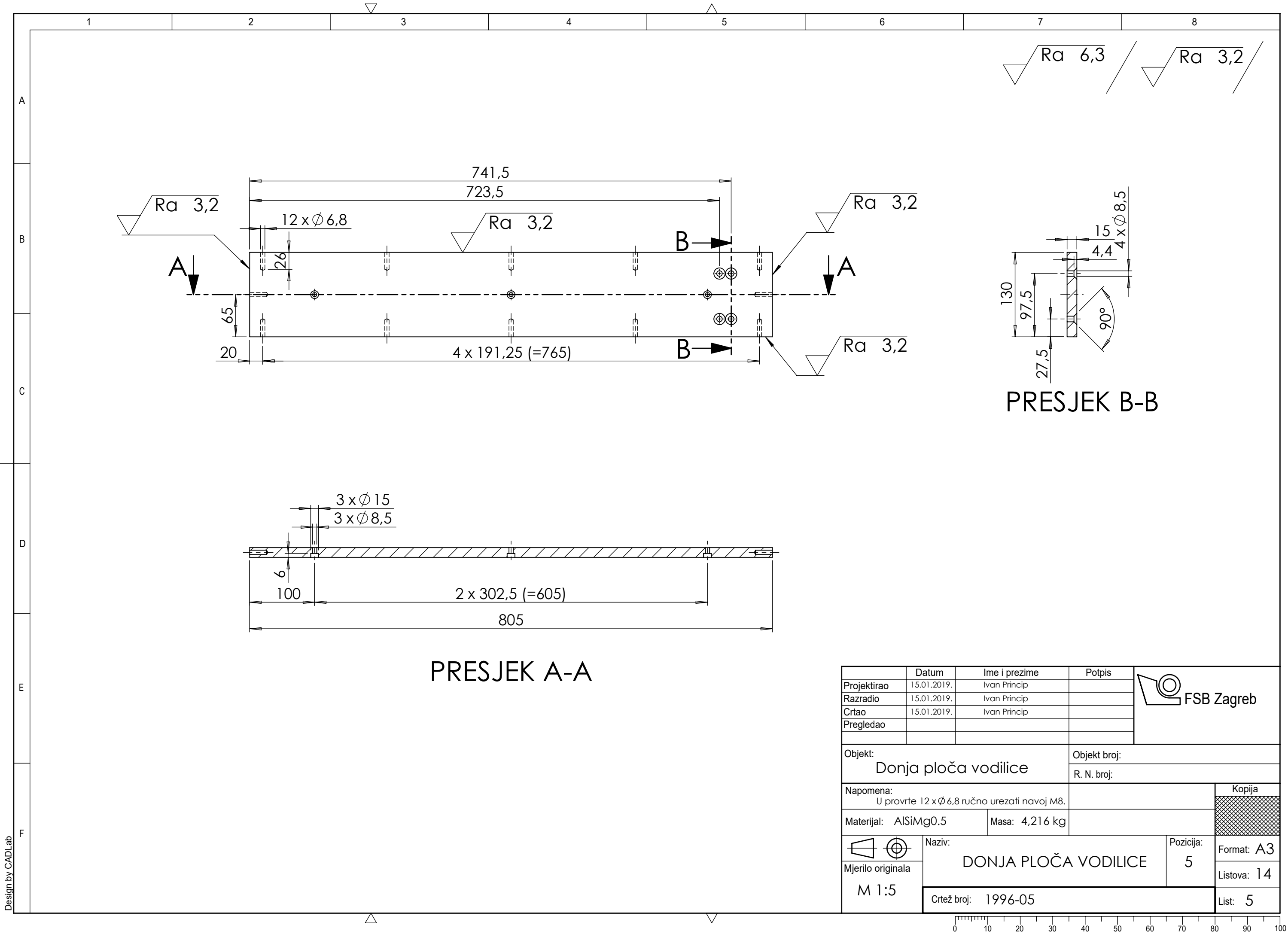


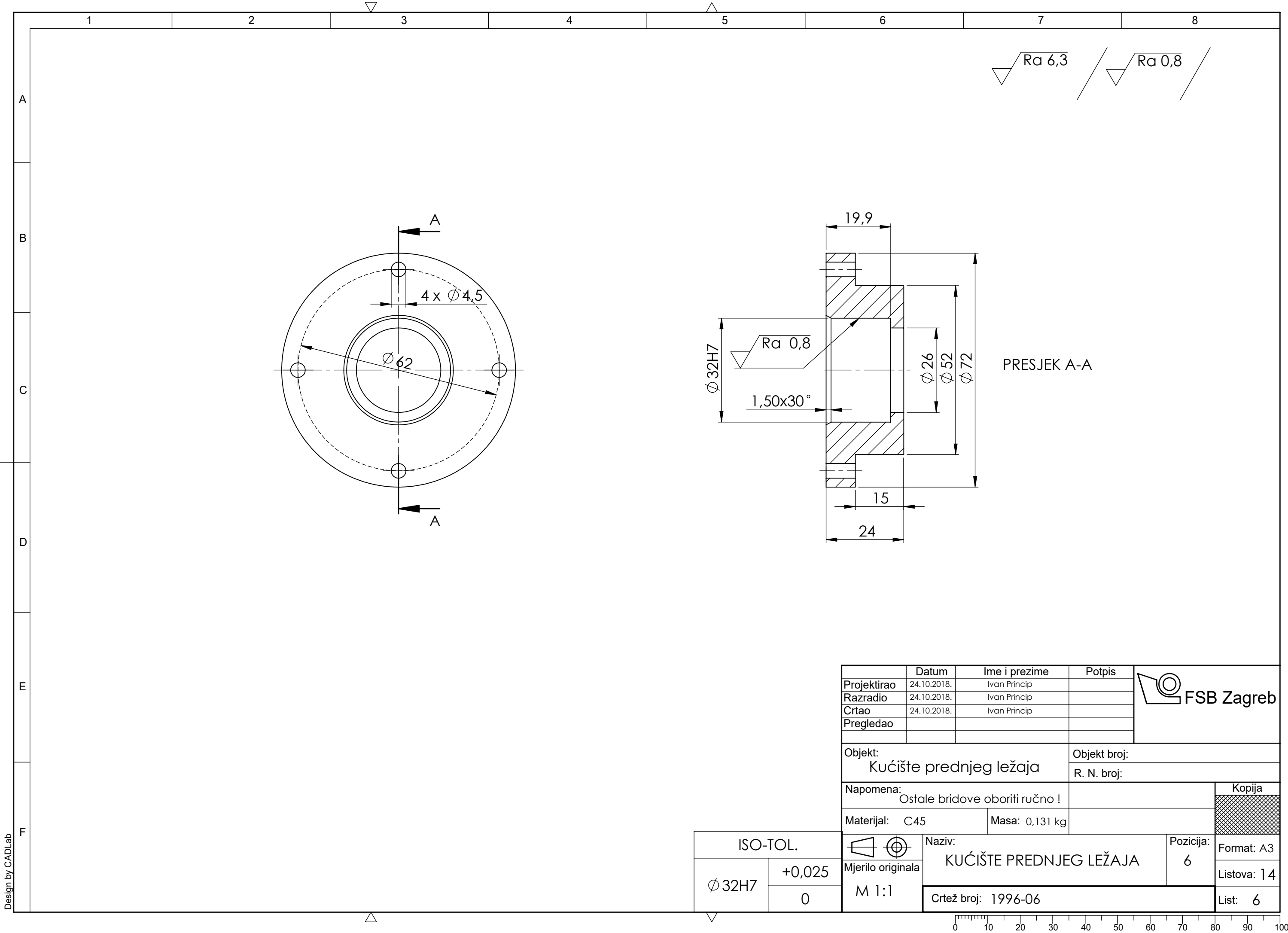


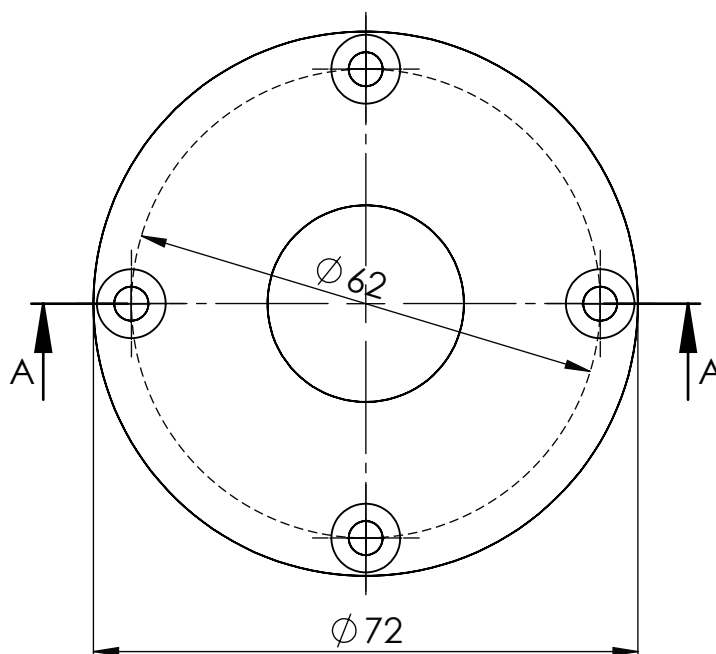
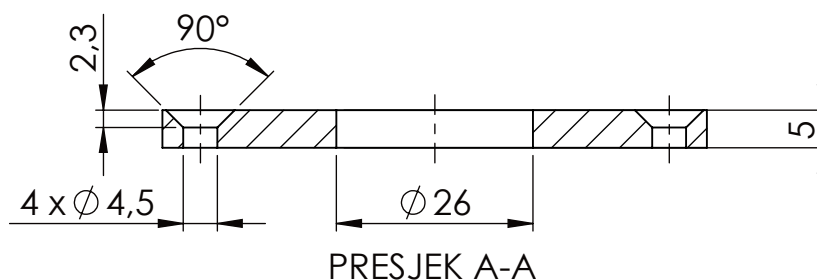
| | | | | |
|---|-----------------------------|----------------|--------------|--|
| | Datum | Ime i prezime | Potpis |  FSB Zagreb |
| Projektirao | 20.10.2018. | Ivan Princip | | |
| Razradio | 20.10.2018. | Ivan Princip | | |
| Crtao | 20.10.2018. | Ivan Princip | | |
| Pregledao | | | | |
| Objekt: | | | | |
| Lijeva bočna ploča vodicile | | | Objekt broj: | |
| | | | R. N. broj: | |
| Napomena: U provrte 4 x Ø 6,8 ručno urezati navoj M8, u provrte 14 x Ø 4,2 ručno urezati navoj M5. | | | | |
| Materijal: AlMgSi0.5 | | Masa: 2,666 kg | | |
|  | Naziv: | | Pozicija: | |
| | LIJEVA BOČNA PLOČA VODILICE | | 3 | Format: A2 |
| | Crtež broj: 1996-03 | | | Listova: 14 |
| Mjerilo originala | | | | List: 3 |
| M 1:2 | | | | |






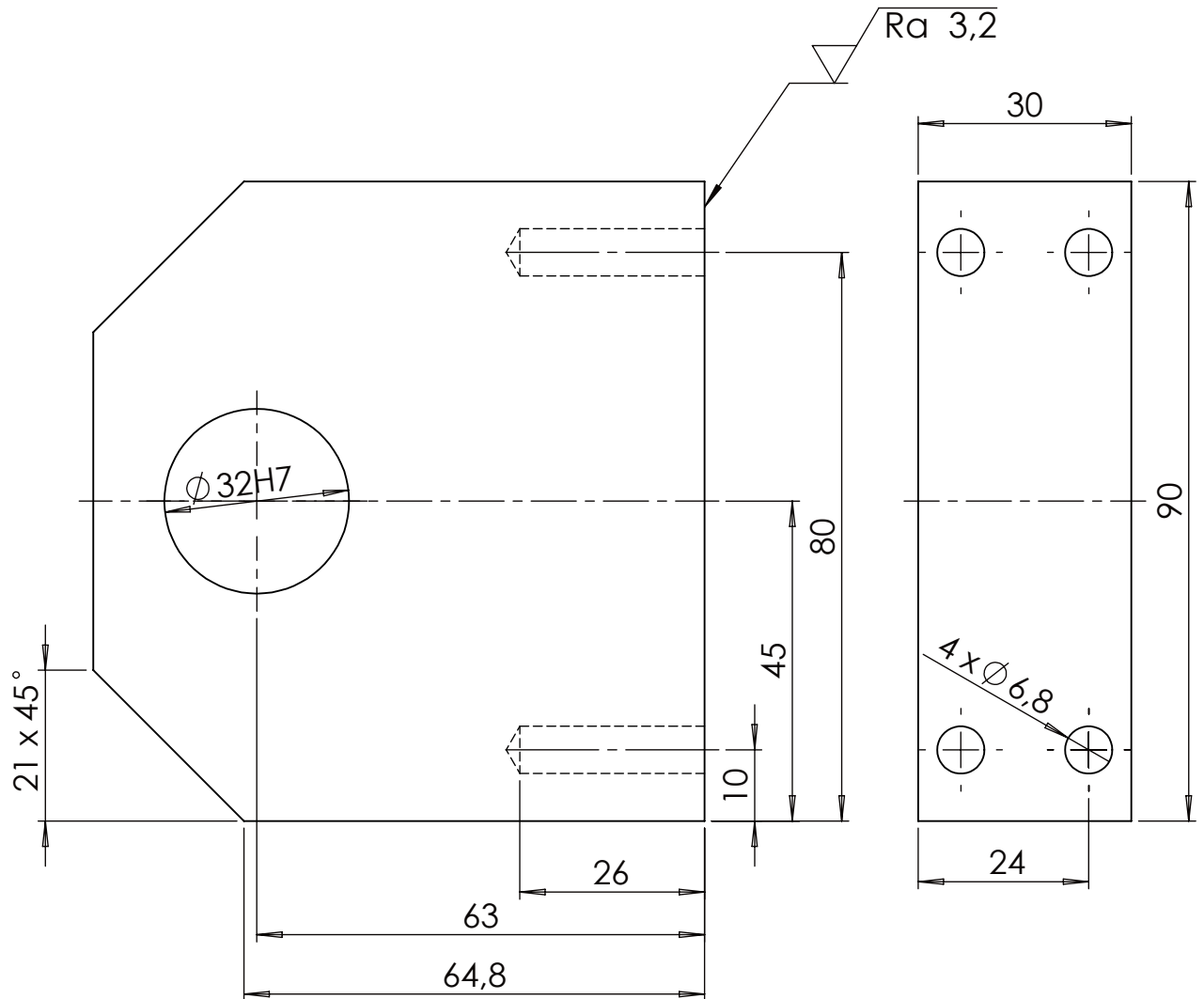








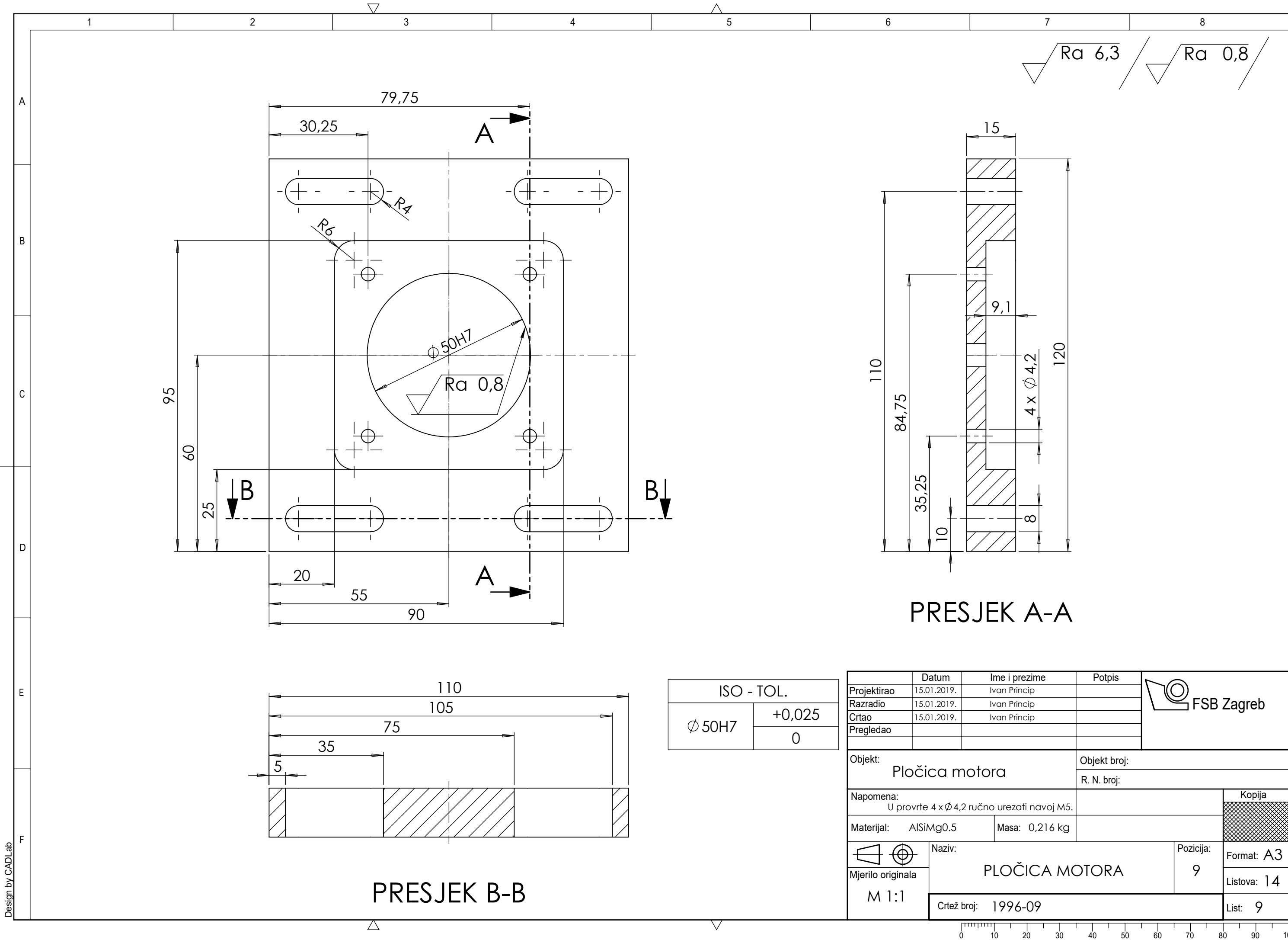
| | | | | |
|---|--------------------------|----------------|--------------|--|
| | Datum | Ime i prezime | Potpis |  FSB Zagreb |
| Projektirao | 24.10.2018. | Ivan Princip | | |
| Razradio | 24.10.2018. | Ivan Princip | | |
| Crtao | 24.10.2018. | Ivan Princip | | |
| Pregledao | | | | |
| | | | | |
| Objekt: Pokrovna pločica kućišta | | | Objekt broj: | |
| | | | R. N. broj: | |
| Napomena: | | | | Kopija |
| | | | | |
| Materijal: C45 | | Masa: 0,046 kg | | |
|  | Naziv: | | Pozicija: | Format: A4 |
| Mjerilo originala | POKROVNA PLOČICA KUĆIŠTA | | 7 | Listova: 14 |
| M 1:1 | Crtež broj: 1996-07 | | | List: 7 |


$\sqrt{Ra\ 6,3}$ / $\sqrt{Ra\ 3,2}$




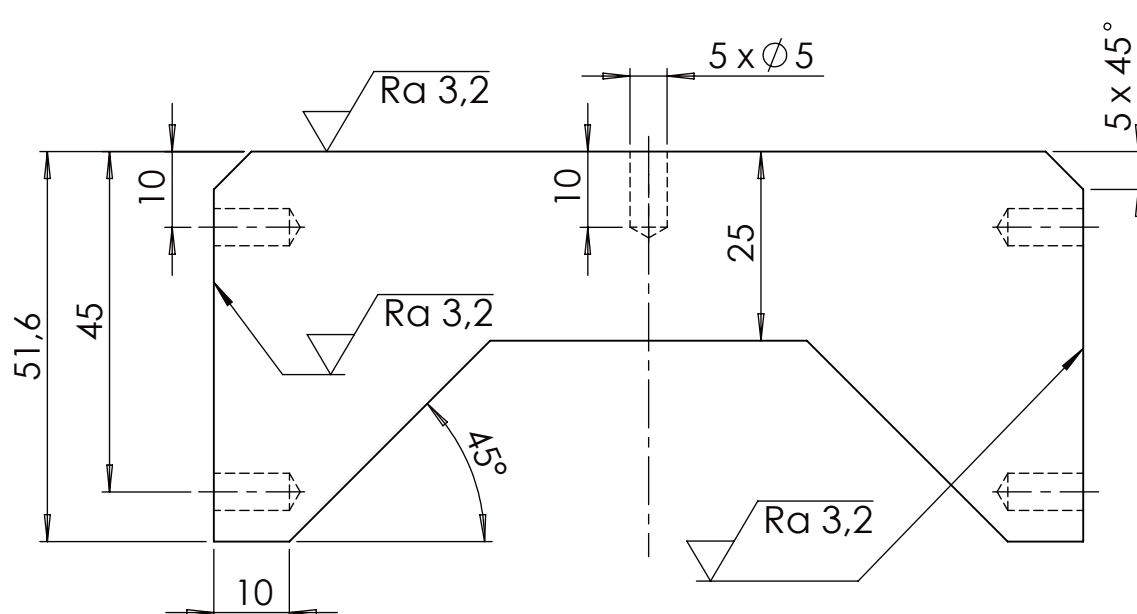
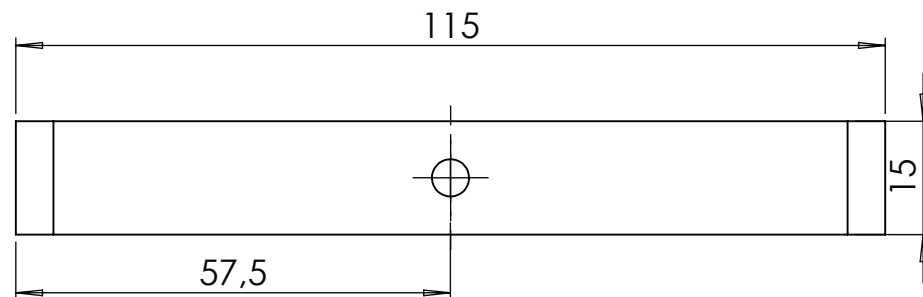
| ISO - TOL. | |
|-------------|----------|
| $\phi 32H7$ | $+0,025$ |
| | 0 |


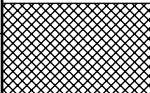
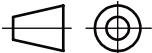
| | | | | |
|---|--------------------------|---------------|----------------|--|
| | Datum | Ime i prezime | Potpis |  FSB Zagreb |
| Projektirao | 15.01.2019. | Ivan Princip | | |
| Razradio | 15.01.2019. | Ivan Princip | | |
| Crtao | 15.01.2019. | Ivan Princip | | |
| Pregledao | | | | |
| Objekt: Kućište stražnjeg ležaja | | | Objekt broj: | |
| | | | R. N. broj: | |
| Napomena: U provrte 4 x Ø 6,8 ručno urezati navoj M8. | | | | Kopija |
| Materijal: AlSiMg0.5 | | | Masa: 0,527 kg | |
|  | Naziv: | | Pozicija: | Format: A4 |
| Mjerilo originala | KUĆIŠTE STRAŽNJEG LEŽAJA | | 8 | Listova: 14 |
| M 1:1 | Crtež broj: 1996-08 | | | List: 8 |



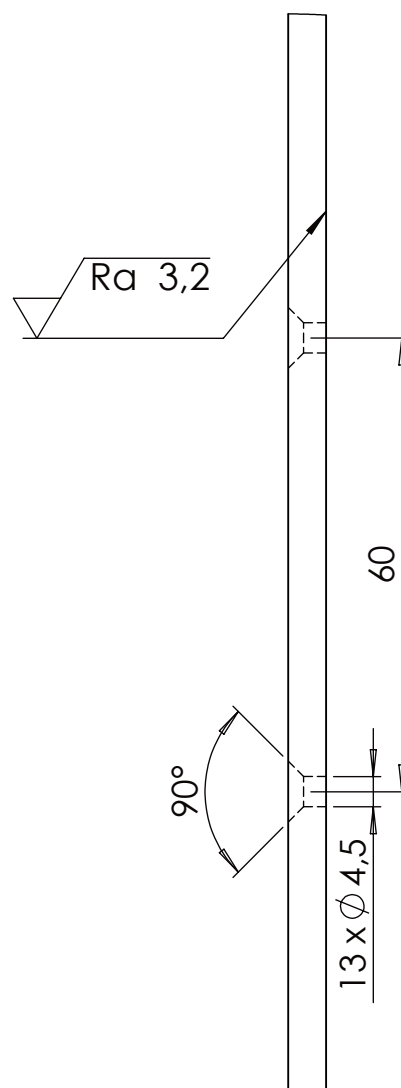
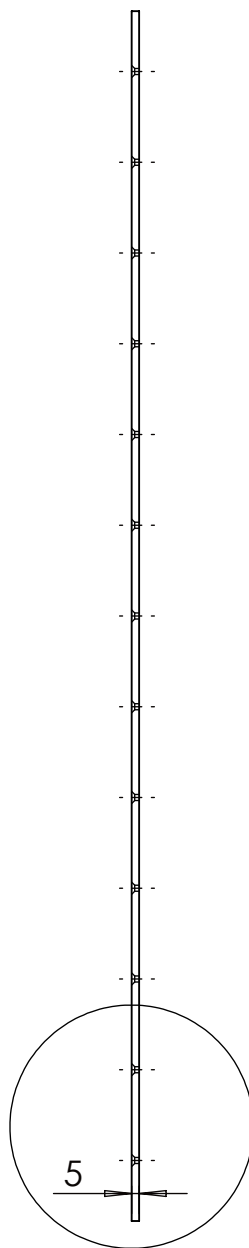
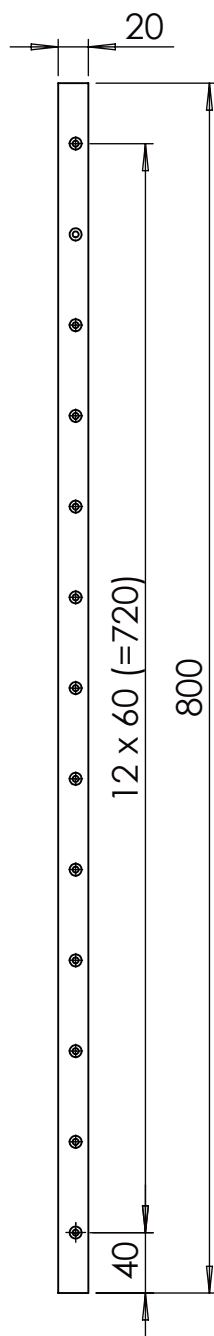
 Ra 6,3

 Ra 3,2

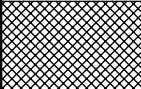


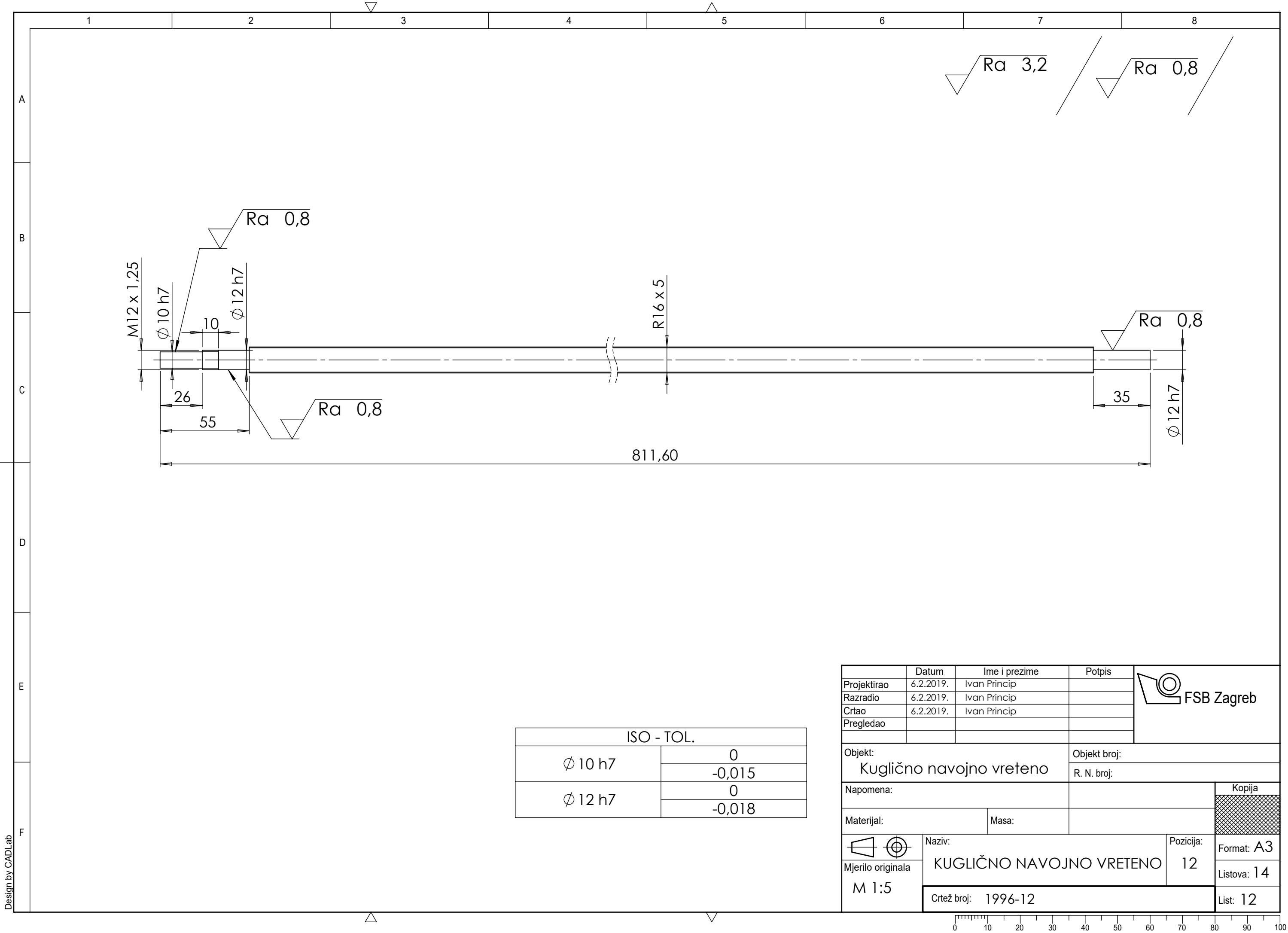
| | | | | | |
|---|--------------|---------------------|--------------|--|---|
| | Datum | Ime i prezime | Potpis |  FSB Zagreb | |
| Projektirao | 15.10. 2018. | Ivan Princip | | | |
| Razradio | 15.10. 2018. | Ivan Princip | | | |
| Crtao | 15.10. 2018. | Ivan Princip | | | |
| Pregledao | | | | | |
| Objekt: | | | Objekt broj: | | |
| Spojna ploča | | | R. N. broj: | | |
| Napomena: | | | | | Kopija |
| U provrte 5 x Ø 5 ručno urezati navoj M6. | | | | | |
| Materijal: AlSiMg0.5 | | Masa: 0,159kg | | |  |
|  | | Naziv: | | | |
| Mjerilo originala | | SPOJNA PLOČA | | 10 | Listova: 14 |
| M 1:1 | | Crtež broj: 1996-10 | | | List: 10 |


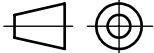
$\sqrt{\text{Ra } 6,3}$ / $\sqrt{\text{Ra } 3,2}$

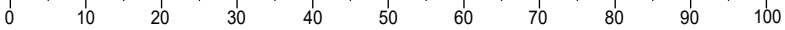


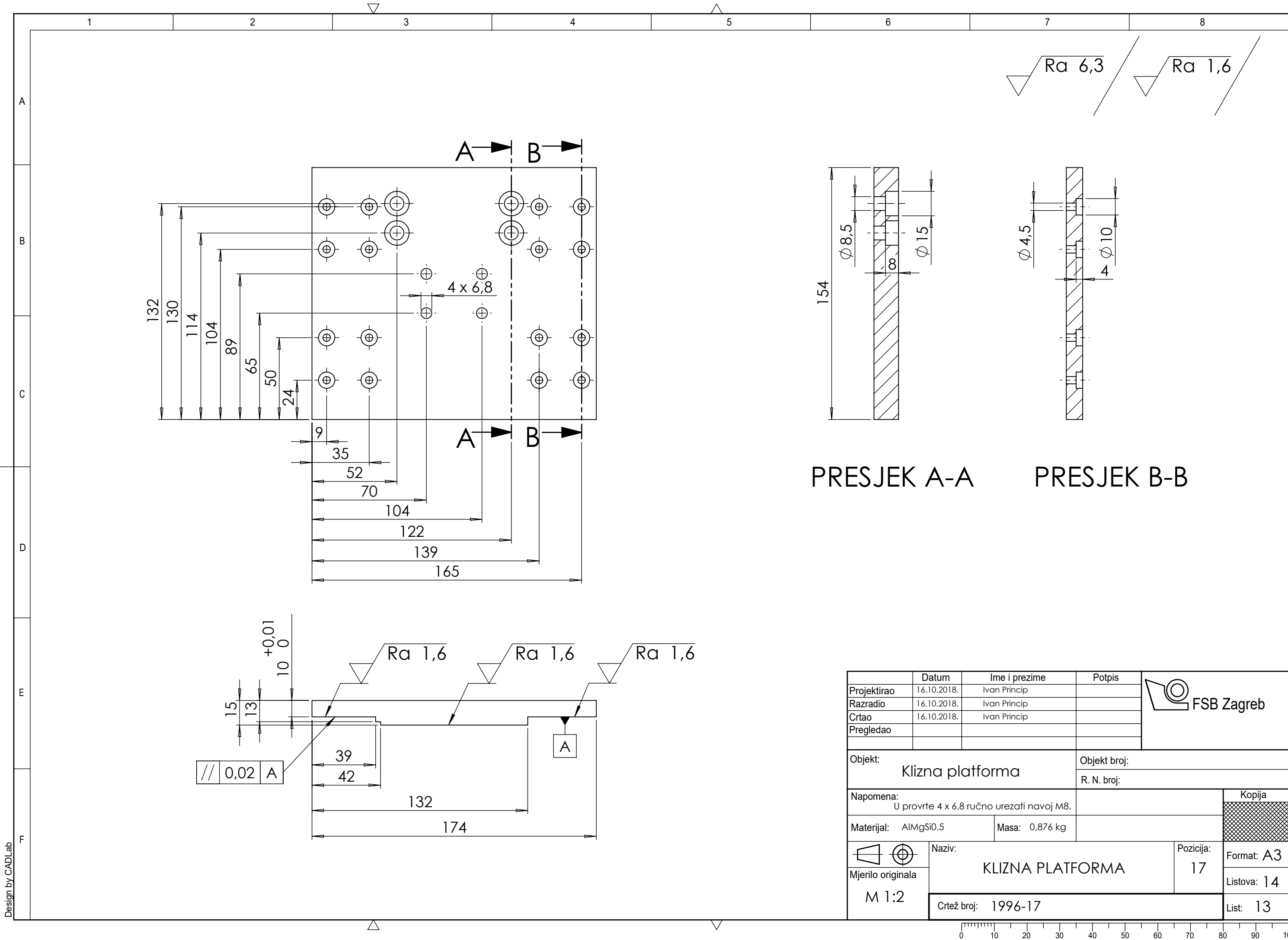
DETALJ A
(M 1:1)

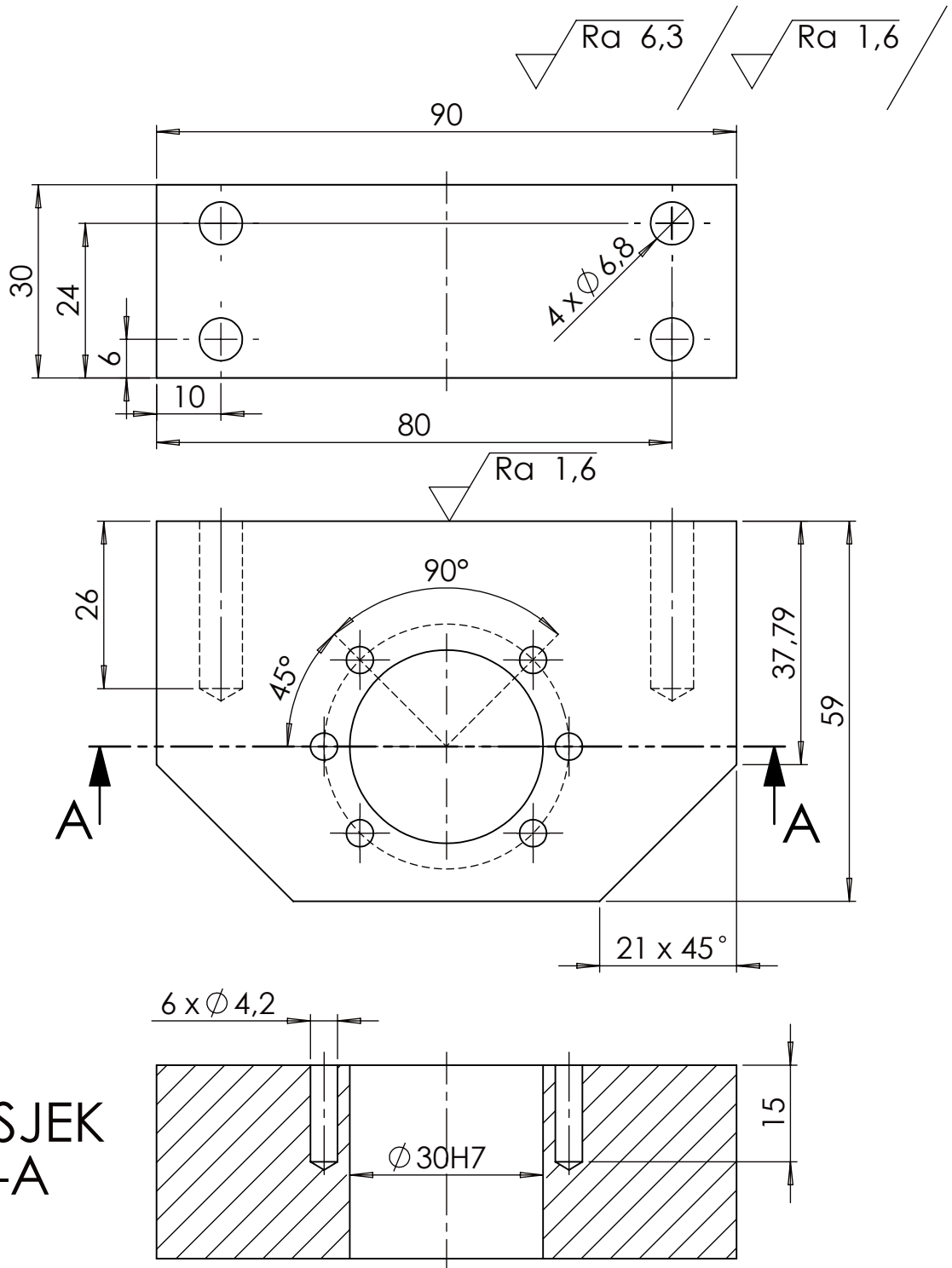
| | | | | |
|---|------------------------|----------------|--------|--|
| | Datum | Ime i prezime | Potpis |  FSB Zagreb |
| Projektirao | 15.1.2019. | Ivan Princip | | |
| Razradio | 15.1.2019. | Ivan Princip | | |
| Crtao | 15.1.2019. | Ivan Princip | | |
| Pregledao | | | | |
| Objekt: Vanjska pločica | | | | Objekt broj: |
| | | | | R. N. broj: |
| Napomena: | | | | Kopija |
| Materijal: AlSiMg0.5 | | Masa: 0,208 kg | |  |
|  | Naziv: VANJSKA PLOČICA | | | Pozicija: 11 |
| Mjerilo originala | | | | Format: A4 |
| M 1:5 | | | | Listova: 14 |
| Crtež broj: 1996-11 | | | | List: 11 |



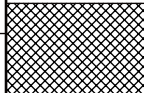

| | | | | |
|---|--------------------------|---------------|--------------|--|
| | Datum | Ime i prezime | Potpis |  FSB Zagreb |
| Projektirao | 6.2.2019. | Ivan Princip | | |
| Razradio | 6.2.2019. | Ivan Princip | | |
| Crtao | 6.2.2019. | Ivan Princip | | |
| Pregledao | | | | |
| Objekt: | | | Objekt broj: | |
| Kuglično navojno vreteno | | | R. N. broj: | |
| Napomena: | | | | Kopija |
| Materijal: | | Masa: | | |
|  Mjerilo originala M 1:5 | Naziv: | | Pozicija: | Format: A3 |
| | KUGLIČNO NAVOJNO VRETENO | | 12 | Listova: 14 |
| | Crtež broj: 1996-12 | | | List: 12 |







PRESJEK A-A

| | | | | | | |
|--|--------|---------------------|---------------|--------|--|-----------|
| ISO - TOL. | | Datum | Ime i prezime | Potpis |  FSB Zagreb | |
| Ø 30H7 | +0,021 | Projektirao | Ivan Princip | | | |
| | | Razradio | Ivan Princip | | | |
| | 0 | Crtao | Ivan Princip | | | |
| | | Pregledao | | | | |
| Objekt: Kućište matice | | | | | Objekt broj: | |
| | | | | | R. N. broj: | |
| Napomena: U provrte 6 x Ø 4,2 ručno urezati navoj M5, u provrte 4 x Ø 6,8 ručno urezati navoj M8. | | | | | Kopija | |
| Materijal: AlSiMg0.5 | | Masa: 0,338 kg | | |  | |
|  | | Naziv: | | | | Pozicija: |
| Mjerilo originala | | KUĆIŠTE MATICE | | | | 19 |
| M 1:1 | | Crtež broj: 1996-19 | | | | |
| | | | | | Format: A4 | |
| | | | | | Listova: 14 | |
| | | | | | List: 14 | |